

ISSN 2226-910X
E-ISSN 2310-1202

**ВЕСТНИК ВОРОНЕЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Вестник ВГУИТ

Proceedings of VSEI

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

2023

№

2

16+

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»



**ВЕСТНИК
ВОРОНЕЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

ВЕСТНИК ВГУИТ

2023, Том. 85, № 2

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. 2

SCIENTIFIC AND THEORETICAL JOURNAL

FOUNDED IN 1938
COMES 4 TIMES PER YEAR

**Voronezh
2023**

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

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

Материалы журнала размещаются в

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

В журнале представлены статьи по следующим научным специальностям:

05.18.00 – Технология продовольственных товаров;

05.17.00 – Химическая технология;

08.00.00 – Экономические науки

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ЖУРНАЛА

Председатель (Главный редактор):

ПОПОВ ВАСИЛИЙ НИКОЛАЕВИЧ доктор биологических наук, профессор, профессор РАН, врио ректора, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия) ORCID: 0000-0003-1294-8686

Заместители председателя (Зам. главного редактора):

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ РУБРИК

Процессы и аппараты пищевых производств

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

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

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

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

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

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

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

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

МАКСИМЕНКО ЮРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе и инновациям, заведующий 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 государственный аграрный технический университет (Минск, Беларусь) ORCID: 0000-0001-6604-9366

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Химическая технология

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Экономика и управление

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Официальный сайт «Вестник ВГУИТ» www.vestnik-vsuet.ru
Подписной индекс издания в агентстве "Роспечать" 70927

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

Учредитель: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

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

Адрес университета, редакции, издательства и отдела полиграфии ФГБОУ ВО «ВГУИТ»
394036, Воронеж, пр. Революции д.19 ауд.11
тел./факс: (473) 255-37-16
E-mail: post@vestnik-vsuet.ru

Сдано в набор 12.06.2023. Подписано в печать 23.06.2023
Выход в свет: 29.06.2023
Формат 70×100 1/8.
Усл. печ. л. 45.5 Тираж 1500 экз. Заказ.
Цена – свободная.

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

**The magazine is included in the list of publications recommended
by the Higher Attestation Commission
Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
for the publication of dissertation research**

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

Journal materials are placed in

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

The journal presents articles on the following scientific specialties:

05.18.00 – Food Technology;
05.17.00 – Chemical Technology;
08.00.00 – Economics

EDITORIAL COUNCIL

Chairman (Editor-in-chief):

POPOV, VASILIIY NIKOLAEVICH Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Russian Academy of Sciences, Rector, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia) ORCID: 0000-0003-1294-8686

Vice-chairman (Deputy Chief Editor):

KORNEEVA, OLGA SERGEEVNA Doctor of Biological Sciences, Professor, Honored Worker of Higher School of Russia, Vice Rector for scientific and innovative activity, Head of the Department of Biochemistry and Biotechnology, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia) ORCID: 0000-0002-2863-0771

EDITORIAL TEAM

Processes and devices for food production

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Food biotechnology

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Chemical Technology

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Economics and Management

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Official site: www.vestnik-vsuet.ru

Subscription index of the publication in the Rospechat agency 70927

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

Founder: Voronezh State University of Engineering Technologies

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

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

394036, Voronezh, pr. Revolution 19, room 11

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

E-mail: post@vestnik-vsuet.ru

Put in set 12.06.2023. Signed to print 23.06.2023

The publication: 29.06.2023

Format 70×100 1/8.

Conditional Print l. 45,5 Circulation 1500 copies.

Price - Free.

© FSBEI HE

“Voronezh State University
of Engineering
Technologies”, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Алексеев М.В., Кудряшов В.С., Иванов А.В., Козенко И.А., Овсенов М.О. Разработка геоинформационной системы мониторинга работы с заказчиками по поставкам, обслуживанию и автоматизации элеваторного оборудования для ООО «Эксперт-Агро»	17
Шорсткий И.А., Мунассар Е.Х. Влияние низкотемпературной атмосферной плазмы слаботоковых высоковольтных разрядов на структуру поверхности и водопоглощающую способность зернового материала	23
Бородулин Д.М. Разработка SCADA-проекта процесса выпаривания молока в двухкорпусной вакуум-выпарной установке	32
Ключников А.И., Овсянников В.Ю., Ключникова Д.В., Давыдов А.М. Перспективы методов вычислительной гидродинамики при исследовании мембранных процессов	38
Богданов А.В., Василенко К.Е. Определение высоты установки решетки мясорубки с вертикальным расположением шнека над верхним краем тары	45

ПИЩЕВАЯ БИОТЕХНОЛОГИЯ

Антипова Л.В., Титов С.А., Кумолагова З.Х., Санин В.Н. Изменение электрического импеданса мяса коз в процессе автолиза	50
Тефилова С.Н., Велина Д.А., Орловцева О.А., Клоконос М.В., Мануковская М.В., Маламуд Д.Б., Никитин И.А. Расширение ассортимента мучных кондитерских изделий для специализированного питания	59
Пономарева Е.И., Лукина С.И., Алехина Н.Н., Григорян А.Э. Повышение пищевой ценности рулета бисквитного	66
Малова И.В., Васюкова А.Т., Любецкая Т.Р., Москаленко А.С., Латышев Е.Ю. Обоснование применения и нормативное регулирование качества рыбных блюд и продуктов, как элемента здорового питания	72
Олдырев Д.В., Ярцева Н.В., Сергазиева О.Д., Бахарева А.А. Анализ потребительских предпочтений и готовности потребителей Астраханской области к приобретению биоразлагаемых упаковочных материалов и упаковки	80
Саргсян М.А., Белокурова Е.В. Сравнение эффективности иммобилизации катионов на поверхности биополимерного носителя с целью использования полученной композиции в технологии хлебобулочных изделий	91
Феофилактова О.В., Лабетский В.В. Влияние индивидуальной упаковки на сохраняемость эмульсионных пищевых продуктов	96
Гизатов А.Я., Гизатова Н.В. Обогащение мясных продуктов натуральными природными биопротекторами и антиоксидантами	103
Питкин В.А., Родионова А.А. Особенности рационального питания спортсменов: анализ сборных команд вуза	110
Крячко А.Н. Качественный и количественный анализ на содержание бензойной, салициловой, сорбиновой и глицирризиновой кислот в водном экстракте люцерны посевной	116
Бондаренко Н.А., Гусева Е.В., Сафаров Р.Р. Применение вычислительной гидродинамики для моделирования биореакторов с мешалкой в Ansys Fluent	123
Боярина И.В., Хамагаева И.С., Замбалова Н.С. Питательная основа для культивирования штамма <i>Bifidobacterium Infantis</i> 2008	130
Алехина Н.Н., Бакаева И.А. Варианты заморозки полуфабрикатов из биоактивированной пшеницы в технологии хлеба зернового	136
Сыромятников М.Ю., Нестерова Е.Ю., Гладких М.И., Толкачева А.А., Бондарева О.В., Попов В.Н. Влияние фукоидана и инулина на экспрессию генов метаболизма <i>Lactobacillus plantarum</i>	144
Шелепов В.Г., Бямбаа Б., Челнакова Н.Г., Позняковский В.М. Инновационные перспективы создания биологически активных комплексов на основе полисахаридной матрицы	151
Позднякова О.Г., Сергеева И.Ю., Казакова М.А., Назимова Е.В., Позняковский В.М. Иммуномодулирующий поливитаминный комплекс и его роль в антиоксидантной защите организма	156
Образцова С.В., Бондарева О.В., Свиридова Т.В., Шуваева Г.П., Мещерякова О.Л.	164

Корнеева О.С. Определение фракционного состава зеленой массы амаранта	
Корнеева О.С., Василенко Л.И., Мещерякова О.Л., Берестовой А.А., Исува М.М.	170
Конопляный белок: получение и функционально-технологические свойства	
Васюкова А.Т., Кусова И.У., Эдварс Р.А., Шумилина М.Д., Асташев М.А., Варламов И.А.	178
Совершенствование технологии приготовления кулинарной продукции из мяса птицы для детского питания: систематический обзор	

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Боброва И.И., Котова С.В., Наумова Ю.А. Влияние экологичных масел Фитонорман на адгезионные свойства морозостойких резин на основе бутадиен-нитрильного каучука	189
Самедов М.М.О., Мустафа-заде Дж.М.О., Мамедова Г.М.К., Джавадова С.Г.К. Получение фосфорного удобрения с дополнительными питательными элементами	198
Васильев И.Ю., Ананьев В.В. Исследование поверхностных свойств биокomпозиционных материалов, модифицированных обработкой в плазме коронного разряда	205
Александрова Л.В., Успенская М.В., Ишевский А.Л. Обзор: биodeградируемые упаковочные пленочные материалы	216
Губанова М.И., Баженов Н.С., Кирш И.А., Банникова О.А., Дымицкий А.В. Исследование пленочных материалов, полученных из модифицированных растворяемых систем на основе поливинилового спирта	226
Лозицкая А.В., Утехин А.Н., Кондратов А.П. Электропроводящие полимерные композиты на эластичной волокнистой основе	237
Мамедов Э.И., Кольцов В.А., Калмыкова Е.Н. Синтез и исследование композитных материалов на основе яблочного пектина и катионов меди	247

CONTENTS

PROCESSES AND APPARATUSES OF FOOD ENGINEERING

Alekseev M.V., Kudryashov V.S., Ivanov A.V., Kozenko I.A., Ovsenev M.O. Development of a geographic information system for monitoring work with customers for the supply, maintenance and automation of elevator equipment for LLC «Expert-Agro»	17
Shorstkii I.A., Munassar E.H. Effect of low current cold atmospheric plasma on grains surface structure and water absorption capacity	23
Borodulin D. M. SCADA project for milk evaporation in double-effect evaporators	32
Klyuchnikov A.I., Ovsyannikov V.Yu., Klyuchnikova D.V., Davydov A.M. Perspectives of computational fluid dynamics methods in the study of membrane processes	38
Bogdanov A.V., Vasilenko K.E. Determination of the installation height of the meat grinder grate with a vertical screw arrangement above the upper edge of the container	45

FOOD BIOTECHNOLOGY

Antipova L.V., Titov S.A., Kumolagova Z.H., Sanin V.N. Changes in the electrical impedance of goat meat in the process of autolysis	50
Tefikova S.N., Velina D.A., Orlovtsseva O.A., Klokonos M.V., Manukovskaya M.V., Malamud D.B., Nikitin I.A. Expanding the range of flour confectionery products for specialized nutrition	59
Ponomareva E.I., Lukina S.I., Alekhina N.N., Grigoryan A.E. Increasing the nutritional value of the biscuit roll	66
Malova I.V., Vasyukova A.T., Lyubetskaya T.R., Moskalenko A.S., Latyshev E.Yu. Justification of the application and regulatory regulation of the quality of fish dishes and products as a healthy food element	72
Oldyrev D.V., Yartseva N.V., Sergazieva O.D., Bakhareva A.A. Analysis of consumer preferences and readiness of consumers in the Astrakhan region to purchase biodegradable packaging materials and packaging	80
Sargsyan M.A., Belokurova E.V. Comparison of the effectiveness of immobilization of cations on the surface of a polymer carrier in order to use the resulting composition in the technology of bakery products	91
Feofilaktova O.V., Labetsky V.V. Effect of individual packaging to preserve emulsion foods	96
Gizatov A.Ya., Gizatova N.V. Enrichment of meat products with natural bioprotectors and antioxidants	103
Pitkin V.A., Rodionova A. A. Features of rational nutrition of athletes: analysis of university teams	110
Krjachko A.N. Qualitative and quantitative analysis for the content of benzoic, salicylic, sorbic and glycyrrhizic acids in an aqueous extract of alfalfa	116
Bondarenko N.A., Guseva E.V., Safarov R.R. Application of computational fluid dynamics for simulation of stirred bioreactors in Ansys Fluent	123
Boyarineva I.V., Khamagaeva I.S., Zambalova N.A. Nutritional basis for cultivation of <i>Bifidobacterium Infantis</i> 2008	130
Alekhina N.N., Bakaeva I.A. Options for freezing semi-finished products from bioactivated wheat in grain bread technology	136
Syromyatnikov M.Yu., Nesterova E.Yu., Gladkikh M.I., Tolkacheva A.A., Bondareva O.V., Popov V.N. The effect of fucoidan and inulin on the expression of <i>Lactobacillus plantarum</i> metabolism genes	144
Shelepov V.G., Byambaa B., Chelnakova N.G., Poznyakovsky V.M. Innovative prospects for the creation of biologically active complexes based on a polysaccharide matrix	151
Pozdnyakova O.G., Sergeeva I.Yu., Kazakova M.A., Nazimova E.V., Poznyakovsky V.M. Immunomodulating multivitamin complex and its role in antioxidant protection of the body	156
Obraztsova S.V., Bondareva O.V., Sviridova T.V., Shuvaeva G.P., Meshcheriakova O.L., Korneeva O.C. Determination of the fractional composition of the green mass of amaranth	164
Korneeva O.S., Vasilenko L.I., Meshcheryakova O.L., Berestovoy A.A., Isuwa M.M. Hemp protein: obtaining and functional and technological properties	170

Vasyukova A.T., Kusova I.U., Edvars R.A., Shumilina M.D., Astashev M.A., Varlamov I.A. 178
Improvement of the technology of cooking culinary products from poultry meat for children's food: a systematic review

CHEMICAL TECHNOLOGY

Bobrova I.I., Kotova S.V., Naumova Yu.A. Influence of environmentally friendly Phytonorman oils 189
on the adhesive properties of frost-resistant rubbers based on nitrile butadiene rubber

Samedov M.M.O., Mustafa-zade J.M.O., Mammadova G.M.K., Javadova S.G.K. Obtaining 198
phosphate fertilizer with additional nutrients

Vasiliev I.Yu., Ananiev V.V. Investigation of surface properties of biocomposite materials modified 205
by corona plasma treatment

Alexandrova L.V., Uspenskaya M.V., Ishevsky A.L. Overview: Biodegradable Packaging Film 216
Materials

Gubanova M.I., Bazhenov N.S., Kirsh I.A., Bannikova O.A., Dymitsky A.V. Investigation of film 226
materials obtained from modified polyvinyl al-cohol-based solution systems

Lozitskaya A.V., Utekhin A.N., Kondratov A.P. Electrically conductive polymer composites based 237
on elastic fiber

Mamedov E.I., Koltsov V.A., Kalmykova E.N. Synthesis and study of composite materials based on 247
apple pectin and copper cations

Процессы и аппараты пищевых производств**Processes and devices for food production**DOI: <http://doi.org/10.20914/2310-1202-2023-2-17-22>

Оригинальная статья / Research article

УДК 681.518

Open Access

Available online at vestnik-vsuet.ru**Разработка геоинформационной системы мониторинга работы с заказчиками по поставкам, обслуживанию и автоматизации элеваторного оборудования для ООО «Эксперт-Агро»**

Михаил В. Алексеев	¹	mwa1976@mail.ru	 0000-0001-7768-8550
Владимир С. Кудряшов	¹	kudryashovvs@mail.ru	 0000-0001-6237-0881
Андрей В. Иванов	¹	andrious@rambler.ru	 0000-0002-6034-9672
Иван А. Козенко	¹	kosenko211986@mail.ru	 0000-0002-1508-9875
Максим О. Овсеньев	¹	movsenev@mail.ru	 0009-0007-4931-7040

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

Аннотация. В рамках производственной практики в ООО «Эксперт-Агро» разработана геоинформационная система (ГИС) по поставкам и обслуживанию производимого элеваторного оборудования. В системе MS Access сформирована база данных заказчиков, содержащая название предприятия, адреса и координаты их местоположения, контактную информацию, информацию по заказам (покупка, доставка и установка оборудования, обслуживание действующего оборудования, ремонтные работы и т.д.). При этом автоматически формируется сообщение, когда подходит день завершения заказа, что позволяет контролировать эффективность работы с клиентами и, при необходимости, продлять время выполнения заказа. В интегрированной среде MS Visual Studio с помощью библиотеки gmap.Net реализована геолокация для отображения на карте заказчиков, что позволяет оценивать географию деятельности ООО «Эксперт-Агро» и планировать дальнейшее расширение взаимодействия. Контроль местоположения заказчиков также обеспечивает решение логистических задач по поставкам оборудования. В системе дополнительно предусмотрен подбор датчиков технологических параметров, исполнительных устройств, управляющих контроллеров с модулями ввода/вывода и других приборов для автоматизации поставляемого оборудования. В настоящее время идет наполнение базы данных ГИС информацией по производимому оборудованию и приборам, которые используются в типовых проектах автоматизации.

Ключевые слова: геоинформационная система, база данных заказчиков, геолокация, система мониторинга, элеваторное оборудование.

Development of a geographic information system for monitoring work with customers for the supply, maintenance and automation of elevator equipment for LLC «Expert-Agro»

Mikhail V. Alekseev	¹	mwa1976@mail.ru	 0000-0001-7768-8550
Vladimir S. Kudryashov	¹	kudryashovvs@mail.ru	 0000-0001-6237-0881
Andrey V. Ivanov	¹	andrious@rambler.ru	 0000-0002-6034-9672
Ivan A. Kozenko	¹	kosenko211986@mail.ru	 0000-0002-1508-9875
Maxim O. Ovsenev	¹	movsenev@mail.ru	 0009-0007-4931-7040

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

Abstract. As part of the production practice in LLC «Expert-Agro» developed a geographic information system (GIS) for the supply and maintenance of the produced elevator equipment. In the MS Access system, a database of customers has been formed that contains the names of enterprises, addresses and coordinates of their location, contact information, information on orders (purchase, delivery and installation of equipment, maintenance of existing equipment, repair work, etc.). At the same time, a message is automatically generated when the day of completion of the order approaches, which allows you to control the efficiency of working with customers and, if necessary, extend the lead time of the order. In the MS Visual Studio integrated environment, using the gmap.Net library, geolocation was implemented to display customers on the map, which makes it possible to assess the geography of LLC «Expert-Agro» and plan further expansion of interaction. Controlling the location of customers also provides a solution to logistical problems for the supply of equipment. The system additionally provides for the selection of process parameters sensors, actuators, control controllers with input / output modules and other devices for automating the supplied equipment. At present, the GIS database is being filled with information on manufactured equipment and devices that are used in standard automation projects.

Keywords: geographic information system, customer database, geolocation, monitoring system, elevator equipment..

Для цитирования

Алексеев М.В., Кудряшов В.С., Иванов А.В., Козенко И.А., Овсеньев М.О. Разработка геоинформационной системы мониторинга работы с заказчиками по поставкам, обслуживанию и автоматизации элеваторного оборудования для ООО «Эксперт-Агро» // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 2. С. 17–22. doi:10.20914/2310-1202-2023-2-17-22

For citation

Alekseev M.V., Kudryashov V.S., Ivanov A.V., Kozenko I.A., Ovsenev M.O. Development of a geographic information system for monitoring work with customers for the supply, maintenance and automation of elevator equipment for LLC «Expert-Agro». *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 2. pp. 17–22. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-2-17-22

Введение

В рамках производственной практики в ООО «Эксперт-Агро» разработана геоинформационная система (ГИС) по поставкам и обслуживанию производимого элеваторного оборудования, а также подбора средств автоматизации. В работе приводится описание и основные возможности разработанной ГИС.

Группа компаний «Эксперт-Агро» (ООО «Эксперт-Агро», ООО «Эксперт-Инжиниринг», EVEREST COMPANY (респ. Беларусь) и др.) – интегрированный холдинг, который специализируется на оказании полного комплекса услуг по проектированию, производству оборудования и строительству объектов переработки и хранения зерна: элеваторов, комбикормовых и семенных заводов. Холдинг располагает собственными производственными мощностями, имеет допуски на проектирование промышленных объектов и

производство строительно-монтажных работ, в том числе на опасных производственных объектах по переработке растительного сырья [1].

Целью группы компаний является выстраивание взаимовыгодного сотрудничества с приоритетом долгосрочных отношений с заказчиками (элеваторы, заводы) в плоскости предоставления широкого спектра услуг от проектирования до ввода объектов в эксплуатацию и послегарантийного обслуживания.

Группа компаний «Эксперт-Агро» после расширения производственной мощности и обновления парка оборудования с 2009 г. заключает соглашения с крупнейшими агрохолдингами страны, такими как «Агроинвест», «ЭФКО» и др. Заказчикам поставляются силоса (рисунок 1), зерноочистительные машины (рисунок 2) и другое оборудование, а также готовые комплексы переработки зерна [2–5].

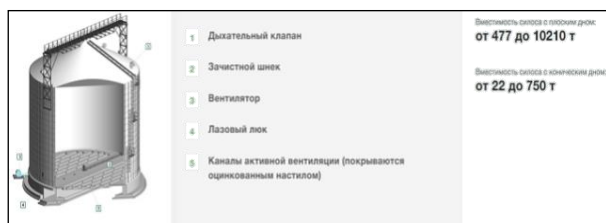


Рисунок 1. Внешний вид и устройство силоса Everest Silos

Figure 1. Appearance and structure of the silo Everest Silos



Рисунок 2. Внешний вид и устройство зерноочистительной машины NEOGRAIN

Figure 2. Appearance and structure of the grain cleaning machine NEOGRAIN

Результаты

Для улучшения работы ООО «Эксперт-Агро» разработана ГИС по поставкам и обслуживанию производимого оборудования [6].

В системе MS Access [7] сформирована база данных заказчиков, содержащая название

предприятий, адреса и координаты их местоположения, контактную информацию, информацию по заказам (покупка, доставка и установка оборудования, обслуживание действующего оборудования, ремонтные работы и т.д.) и срокам их выполнения (рисунок 3).

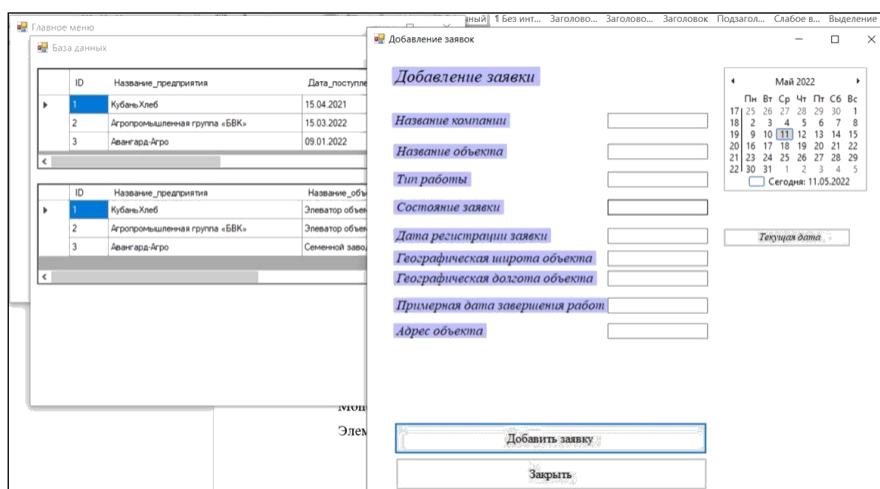


Рисунок 3. Экранная форма с базой данных клиентов

Figure 3. Screen form with customer database

Интерфейс программы позволяет формировать новые записи с информацией по текущим заказам и корректировать записи, внесенные в базу данных. При этом автоматически формируется сообщение, когда подходит день завершения заказа, что позволяет контролировать эффективность работы с клиентами и, при необходимости, продлить время выполнения заказа.

В интегрированной среде MS Visual Studio [8] с помощью библиотеки gmap. Net реализована геолокация для отображения на карте клиентов (элеваторы), что позволяет оценивать географию деятельности ООО «Эксперт-Агро» и планировать дальнейшее расширение взаимодействия с заказчиками (рисунок 4).

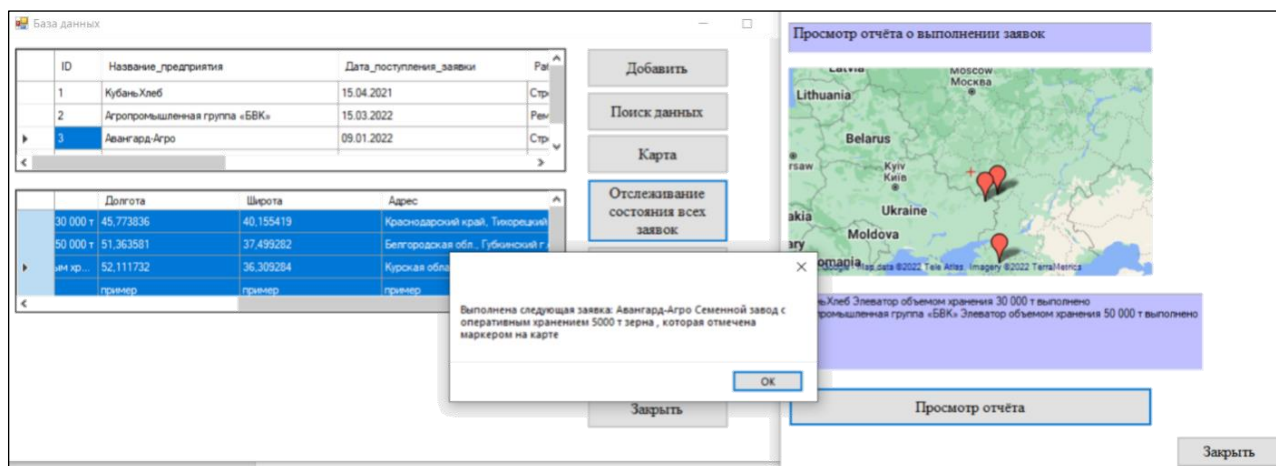


Рисунок 4. Экранная форма с геолокацией клиентов
Figure 4. Screen form with customer geolocation

Контроль местоположения клиентов также обеспечивает решение логистических задач по поставкам элеваторного оборудования [13-20].

При проведении апробации разработанной ГИС в ООО «Эксперт-Агро» сформулировано новое задание по совершенствованию системы [9]. Добавлена функция подбора средств автоматизации для оснащения поставляемого оборудования (рисунок 5).

Реализован алгоритм подбора датчиков технологических параметров, исполнительных устройств и управляющих контроллеров с модулями ввода/вывода с помощью перебора строк базы данных. После выбора требуемых средств автоматизации, нажимается кнопка «Сохранить и продолжить».

В результате информация по выбранным приборам переносится в форму заявки. Как только все поля будут заполнены и нажата кнопка «Сохранить заявку», создается новая запись в базе данных с сохранением выбранного оборудования и средств автоматизации (рисунок 6).

В настоящее время идет наполнение базы данных системы информацией по производимому оборудованию и приборам, которые используются в типовых проектах автоматизации [10–12].

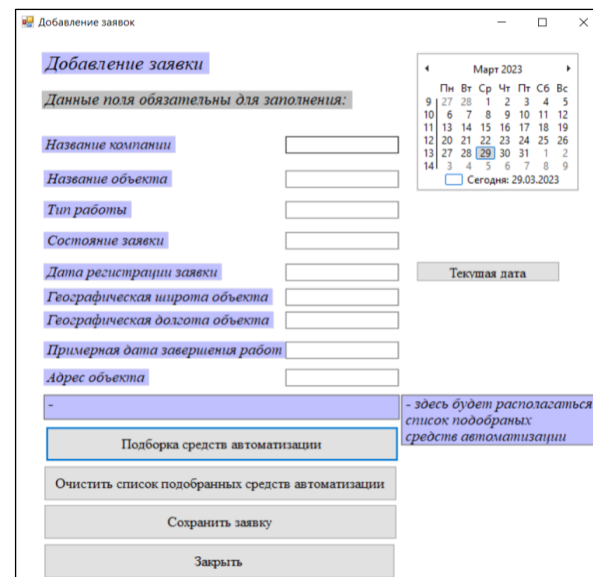


Рисунок 5. Экранная форма добавления новой заявки по оборудованию и подбору средств автоматизации
Figure 5. Screen form for adding a new request for equipment and selection of automation tools

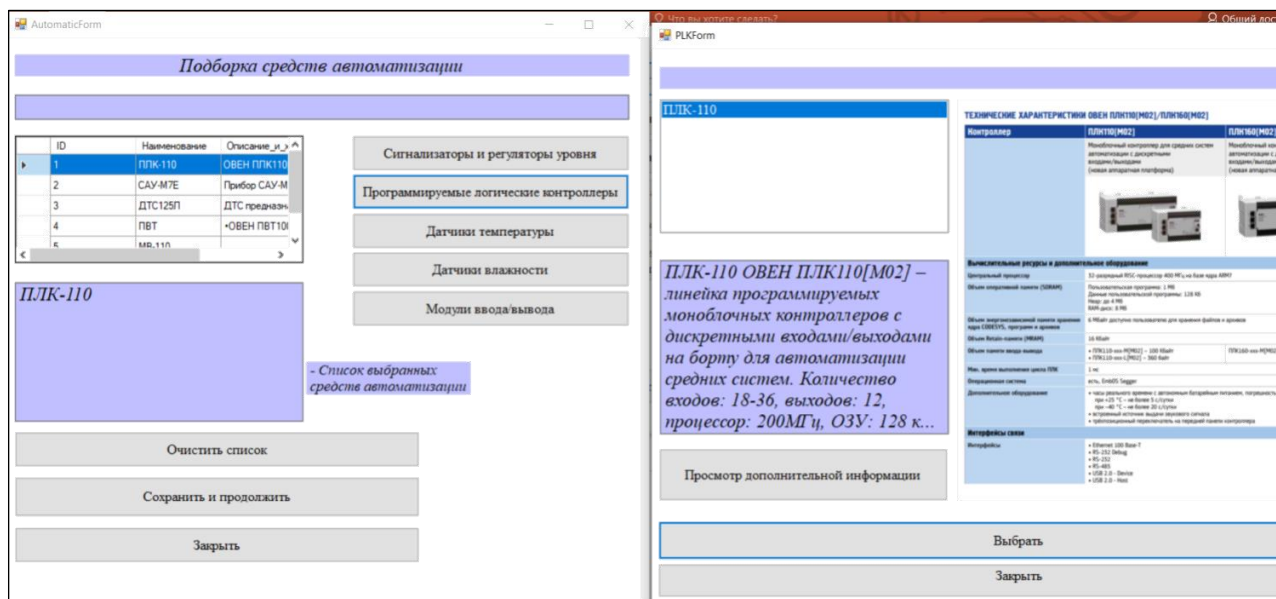


Рисунок 6. Экранная форма для просмотра технических характеристик средств автоматизации и их выбора для конкретного оборудования

Figure 6. Screen form for viewing the technical characteristics of automation tools and their selection for specific equipment

Закключение

Для повышения эффективности работы с заказчиками и решения логистических задач ООО «Эксперт-Агро» разработана ГИС по поставкам и обслуживанию производимого оборудования, а также по оснащению оборудования средствами автоматизации.

Система позволяет формировать, хранить и корректировать данные по заказам оборудования, включая геолокацию клиентов, обеспечивает отслеживание выполнения заказов, предупреждая о дате окончания работ, а также позволяет подобрать приборы для автоматизации поставляемого оборудования.

Литература

- 1 ООО «Эксперт-Агро»: о компании. URL: <http://www.expert-agro.ru>
- 2 Корнев А.С., Оробинский В.И., Сундеев А.А. Влияние режимов работы решетного стана зерноочистительной машины на эффективность сепарации // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2013. №. 3. С. 72-74.
- 3 Хайдарова З.Р., Салиева О.К. Дистанционный контроль температуры зерна в силосах элеваторов // Молодежь и системная модернизация страны. 2018. С. 187-189.
- 4 Ylä-Soini A. Automatization of a grain dryer. 2015.
- 5 Баскаков И.В., Карпенко Р.Н., Оробинский В.И. Зерноочистительные машины и элеваторное оборудование производства ООО "Воронежсельмаш". 2018.
- 6 Алексеев М.В., Овсенов М.О. Геоинформационная система работы с заказчиками по поставкам и обслуживанию сельскохозяйственного оборудования // Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство: VIII Межд. науч.-техн. конф. Воронеж. гос. ун-т инж. техн. Воронеж: ВГУИТ, 2023. С. 334-336.
- 7 Бакаревич Ю.Б., Пушкина Н.В. Самоучитель MS Office Access 2016. СПб.: БХВ-Петербург, 2017. 480 с.
- 8 Шарп Дж. Microsoft Visual C#. Подробное руководство. 8-е изд. СПб.: Питер, 2017. 848 с.
- 9 Алексеев М.В., Козенко И.А., Овсенов М.О. Разработка геоинформационной системы по поставкам элеваторного оборудования // Материалы LXI отчетной научной конференции преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ за 2022 год. В 3 ч. Ч. 2. Воронеж: ВГУИТ, 2023. С. 49.
- 10 Сковрцов В.А. Организация и планирование производства. 2013.
- 11 АО «ЭКСИС». URL: <http://www.eksis.ru/catalog>
- 12 ООО "Грейн автоматизация. URL: <http://www.grainautomation.ru/catalog>
- 13 Costa C., Antonucci F., Pallottino F., Aguzzi J. et al. A review on agri-food supply chain traceability by means of RFID technology // Food and bioprocess technology. 2013. V. 6. P. 353-366.
- 14 Rotz S., Duncan E., Small M., Botschner J. et al. The politics of digital agricultural technologies: a preliminary review // Sociologia ruralis. 2019. V. 59. №. 2. P. 203-229. doi: 10.1111/soru.12233
- 15 Liu X., Wang X., Wright G., Cheng J. C. et al. A state-of-the-art review on the integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS) // ISPRS International Journal of Geo-Information. 2017. V. 6. №. 2. P. 53. doi: 10.3390/ijgi6020053
- 16 Burrough P.A., McDonnell R.A., Lloyd C.D. Principles of geographical information systems. Oxford University Press, 2015.

17 Nurdin N., Pettalongi S.S., Mangasing M. Implementation of Geographic Information System Base On Google Maps API to Determine Bidikmisi Scholarship Recipient Distribution in Central Sulawesi Indonesia // Journal of Humanities and Social Sciences Studies. 2021. V. 3. №. 12. P. 38-53.

18 Erfani S.M.H., Danesh S., Karrabi S.M., Shad, R. A novel approach to find and optimize bin locations and collection routes using a geographic information system // Waste Management & Research. 2017. V. 35. №. 7. P. 776-785. doi: 10.1177/0734242X17706753

19 Fang S., Da Xu L., Zhu Y., Ahati J. et al. An integrated system for regional environmental monitoring and management based on internet of things // IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2014. V. 10. №. 2. P. 1596-1605. doi: 10.1109/TII.2014.2302638

20 Shelestov A.Y., Kravchenko A.N., Skakun S.V., Voloshin S.V. et al. Geospatial information system for agricultural monitoring // Cybernetics and Systems Analysis. 2013. V. 49. P. 124-132.

References

- 1 Expert-Agro LLC: about the company. Available at: <http://www.expert-agro.ru> (in Russian).
- 2 Kornev A.S., Orobinsky V.I., Sundeev A.A. Influence of operating modes of the sieve mill of a grain cleaning machine on separation efficiency. Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. 2013. no. 3. pp. 72-74. (in Russian).
- 3 Khaidarova Z.R., Salieva O.K. Remote control of grain temperature in elevator silos. Youth and systemic modernization of the country. 2018. pp. 187-189. (in Russian).
- 4 Ylä-Soini A. Automation of a grain dryer. 2015. (in Russian).
- 5 Baskakov I.V., Karpenko R.N., Orobinsky V.I. Grain cleaning machines and elevator equipment manufactured by Voronezhskelmash LLC. 2018. (in Russian).
- 6 Alekseev M.V., Ovsenev M.O. Geoinformation system for working with customers for the supply and maintenance of agricultural equipment. Innovative technologies in the food industry: science, education and production. Voronezh, VGUIT, 2023. pp. 334-336. (in Russian).
- 7 Bakarevich Yu.B., Pushkina N.V. Self-instruction manual MS Office Access 2016. St. Petersburg, BHV-Petersburg, 2017. 480 p. (in Russian).
- 8 Sharpe J. Microsoft Visual C#. Detailed guide. 8th ed. St. Petersburg, Peter, 2017. 848 p. (in Russian).
- 9 Alekseev M.V., Kozenko I.A., Ovsenev M.O. Development of a geographic information system for the supply of elevator equipment. Materials of the LXI reporting scientific conference of teachers and researchers of VSUIT for 2022. At 3 hours. Part 2. Voronezh, VGUIT, 2023. pp. 49. (in Russian).
- 10 Skvortsov V.A. Organization and planning of production. 2013. (in Russian).
- 11 JSC "EXIS". Available at: <http://www.eksis.ru/catalog> (in Russian).
- 12 Grain Automation LLC. Available at: <http://www.grainautomation.ru/catalog> (in Russian).
- 13 Costa C., Antonucci F., Pallottino F., Aguzzi J. et al. A review on agri-food supply chain traceability by means of RFID technology. Food and bioprocess technology. 2013. vol. 6. pp. 353-366.
- 14 Rotz S., Duncan E., Small M., Botschner J. et al. The politics of digital agricultural technologies: a preliminary review. Sociologia ruralis. 2019. vol. 59. no. 2. pp. 203-229. doi: 10.1111/soru.12233
- 15 Liu X., Wang X., Wright G., Cheng J. C. et al. A state-of-the-art review on the integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS). ISPRS International Journal of Geo-Information. 2017. vol. 6. no. 2. pp. 53. doi: 10.3390/ijgi6020053
- 16 Burrough P.A., McDonnell R.A., Lloyd C.D. Principles of geographical information systems. Oxford University Press, 2015.
- 17 Nurdin N., Pettalongi S.S., Mangasing M. Implementation of Geographic Information System Base On Google Maps API to Determine Bidikmisi Scholarship Recipient Distribution in Central Sulawesi Indonesia. Journal of Humanities and Social Sciences Studies. 2021. vol. 3. no. 12. pp. 38-53.
- 18 Erfani S.M.H., Danesh S., Karrabi S.M., Shad, R. A novel approach to find and optimize bin locations and collection routes using a geographic information system. Waste Management & Research. 2017. vol. 35. no. 7. pp. 776-785. doi: 10.1177/0734242X17706753
- 19 Fang S., Da Xu L., Zhu Y., Ahati J. et al. An integrated system for regional environmental monitoring and management based on internet of things. IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2014. vol. 10. no. 2. pp. 1596-1605. doi: 10.1109/TII.2014.2302638
- 20 Shelestov A.Y., Kravchenko A.N., Skakun S.V., Voloshin S.V. et al. Geospatial information system for agricultural monitoring. Cybernetics and Systems Analysis. 2013. vol. 49. pp. 124-132.

Сведения об авторах

Михаил В. Алексеев к.т.н., доцент, кафедра автоматизированных систем управления процессами и производствами, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, mwa1976@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7768-8550>

Владимир С. Кудряшов д.т.н., профессор, кафедра информационных и управляющих систем, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kudryashovvs@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6237-0881>

Information about authors

Mikhail V. Alekseev Cand. Sci. (Engin.), associate professor, automated control systems for processes and productions department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, mwa1976@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7768-8550>

Vladimir S. Kudryashov Dr. Sci. (Engin.), professor, automated control systems for processes and productions department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, kudryashovvs@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6237-0881>

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

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

Максим О. Овсенов магистрант, кафедра автоматизированных систем управления процессами и производствами, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, movsenev@mail.ru
 <https://orcid.org/0009-0007-4931-7040>

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.

Andrey V. Ivanov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, automated control systems for processes and productions department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, andrious@rambler.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-6034-9672>

Ivan A. Kozenko Cand. Sci. (Engin.), associate professor, automated control systems for processes and productions department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, kosenko211986@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-1508-9875>

Maxim O. Ovsenev master student, automated control systems for processes and productions department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, movsenev@mail.ru
 <https://orcid.org/0009-0007-4931-7040>

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 18/04/2023	После редакции 05/05/2023	Принята в печать 28/05/2023
Received 18/04/2023	Accepted in revised 05/05/2023	Accepted 28/05/2023

Влияние низкотемпературной атмосферной плазмы слаботоковых высоковольтных разрядов на структуру поверхности и водопоглощающую способность зернового материала

Иван А. Шорсткий¹ thegector@mail.ru  0000-0002-8270-628X
Емад Х.А. Мунассар¹ emadmounasar@gmail.com  0000-0001-5804-7950

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

Аннотация. Применение подготовительных электрофизических методов воздействия на пищевое сырье является одним из основных трендов развития инновационных процессов и технологий в пищевой и перерабатывающей промышленности. На базе физического эффекта эмиссии электронов от термоэмиссионного источника была получена низкотемпературная атмосферная плазма (НАП) слаботоковых высоковольтных разрядов, которую успешно применили для воздействия на зерновой материал. В качестве основных методов анализа электрофизического воздействия были рассмотрены физические характеристики и эволюция низкотемпературной атмосферной плазмы. Для оценки эффекта воздействия низкотемпературной плазмы на зерновой материал проводили измерения водопоглощающей способности и анализ модификации поверхности методами электронной сканирующей микроскопии. Экспериментально установлено, что обработка НАП способствует более интенсивному процессу водопоглощения за счет изменения поверхностной структуры зернового материала. Общая длительность процесса водопоглощения зернового материала после обработки НАП снизилась более чем в три раза до достижения равновесного влагосодержания. Сканирующая электронная микроскопия показала, что обработка НАП приводит к возникновению мелкоячеистой структуры поверхности зернового материала. Эффект обработки НАП приводит к модификации поверхности семян, заключающейся в проявлении мелкоячеистой структуры на поверхности семян. Учитывая преимущества технологии НАП, а именно отсутствие необходимости вакуумирования и малая длительность обработки, технология обладает высоким практическим потенциалом.

Ключевые слова: зерновой материал, атмосферная плазма, модификация поверхности, водопоглощение, пищевое сырье.

Effect of low current cold atmospheric plasma on grains surface structure and water absorption capacity

Ivan A. Shorstkii¹ thegector@mail.ru  0000-0002-8270-628X
Emad H.A. Mounassar¹ emadmounasar@gmail.com  0000-0001-5804-7950

¹ Kuban State University of Technology, 2, Moskovskaya str., Krasnodar, 350072, Russian Federation

Abstract. The use of preparatory electrophysical methods of influencing food raw materials is one of the main trends in the development of innovative processes and technologies in the food and processing industry. Based on the physical effect of electron emission from a thermal emission source, a cold atmospheric plasma (CAP) was obtained, which was successfully applied to the grain material. Physical characteristics and evolution of low-temperature atmospheric plasma were considered as the main methods of analysis of electrophysical effects. To assess the effect of low-temperature plasma on grain material, measurements of water absorption capacity and analysis of surface modification by electron scanning microscopy were carried out. It has been experimentally established that CAP treatment contributes to a more intensive process of water absorption due to changes in the surface structure of the grain material. The total duration of the process of water absorption of grain material after processing of CAP decreased by more than three times until the equilibrium moisture content was reached. Scanning electron microscopy has shown that the processing of CAP leads to the appearance of a fine-mesh structure of the surface of the grain material. The effect of CAP treatment leads to modification of the seed surface, which consists in the manifestation of a fine-meshed structure on the surface of the seeds. Taking into account the advantages of CAP technology, namely the absence of the need for vacuuming and short processing time, the technology has a high practical potential.

Keywords: grain material, atmospheric plasma, surface modification, water absorption, food raw materials.

Введение

Обработка низкотемпературной атмосферной плазмой (НАП) в последние годы начала активно использоваться в сельском хозяйстве в качестве альтернативы традиционной предпосевной обработке семян [1]. Использование технологии низкотемпературной атмосферной плазмы имеет ряд преимуществ перед традиционными технологиями: равномерность обработки, сохранение целостности семян, отсутствие химических

реагентов. Как следствие, использование плазменных технологий в сельском хозяйстве представляет собой переход к экологически чистым и безопасным технологиям [1–3]. Изначально для стимуляции прорастания семян и роста растений применялась техника холодной плазмы, основанная на коронном разряде [4, 5], ВЧ-разряда низкого давления [6], тлеющего разряда [7] и других типов источников плазмы [8, 9].

Для цитирования

Шорсткий И.А., Мунассар Е.Х. Влияние низкотемпературной атмосферной плазмы слаботоковых высоковольтных разрядов на структуру поверхности и водопоглощающую способность зернового материала // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85 № 2. С. 23–31. doi:10.20914/2310-1202-2023-2-23-31

For citation

Shorstkii I.A., Munassar E.H. Effect of low current cold atmospheric plasma on grains surface structure and water absorption capacity. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 2. pp. 23–31. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-2-23-31

Несколько последних работ сообщили об эффекте НАП для модификации поверхности семян и дальнейшего поглощения воды [10–12]. Так, в работе [10] использовали НАП для обработки семян пшеницы. Было обнаружено, что обработка плазмой незначительно влияет на прорастание пшеницы. На 12-й день контрольные семена и семена, помещенные в вакуум, имели примерно на 10% более высокую всхожесть по сравнению с образцами, обработанными плазмой. Другие авторы [11] изучали влияние обработки НАП на прорастание семян и рост проростков сои. Было обнаружено, что поглощение воды семенами улучшилось на 14,03%, а краевой угол смачивания – на 26,19%. В работе [12] применяли НАП для улучшения прорастания семян хлопка. Результаты показали, что 27-минутная обработка НАП с использованием воздуха может значительно увеличить характеристики поглощения воды семенами (до 25%), улучшить прорастание в тепле, прорастание в метаболическом тесте на охлаждение и увеличить морозоустойчивость семян хлопчатника. Обработка холодной атмосферной плазмой была изучена в работе [13]. Было установлено, что НАП имеет большой потенциал для модификации функциональных свойств пищевых и зерновых продуктов. Обработка НАП (длительностью 5–30 мин при 80 кВ) повысила гидратационные свойства муки за счет структурных изменений. В работе [14] сообщили о влиянии НАП на химический состав поверхности семян и модификацию их характеристик. Сообщалось, что контактный угол смачивания был значительно изменен прямым воздействием обработки НАП длительностью 60 секунд.

Одно из возможных объяснений механизма улучшения прорастания и роста семян растений под воздействием электрофизической обработки заключается в том, что плазменная обработка вызывает структурные изменения на поверхности семян [15–17]. Авторы [8] отметили, что на прорастание семян сильно влияют химические реакции на поверхности семян, инициированные воздействием плазмы. Кроме того, авторами [10] было отмечено, что плазменная обработка семян улучшает смачиваемость поверхности семян, что, в свою очередь, приводит к повышению всхожести семян. Таким образом, основной механизм обработки холодной плазмой основан на улучшении поглощения воды посредством модификации поверхности семян.

В разрезе применения низкотемпературной атмосферной плазмы стоит отметить направление слаботочных высоковольтных разрядов, работающих в Туандсендском режиме. В таких разрядах микроплазменный поток на базе импульсной микроплазмы при атмосферном давлении был использован для биологической деконтаминации [18]. Поскольку он работает при атмосферном давлении, нет необходимости в каком-либо

вакуумном оборудовании, что делает установку для обработки портативной. В дополнение к этому, несмотря на высокую температуру электронов, средняя температура газа близка к комнатной из-за низкой энергии ионов; следовательно, подходит для обработки термочувствительных объектов без влияния на их объемные характеристики [18].

На основании вышеприведенной информации авторами работы было интересно проверить влияние низкотемпературной атмосферной плазмы слаботочных высоковольтных разрядов на структуру поверхности и водопоглощающую способность зернового материала.

Материалы и методы

В качестве материала для исследования была выбрана яровая пшеница (*Triticum aestivum* L.), полученная от местного производителя (Краснодар, Россия). Исходное содержание влаги в образцах зерен составляло $10,2 \pm 0,3\%$, измеренное гравиметрическим методом в сушильном шкафу при 103 °C [19] и перепроверено анализатором влажности Эвлас-2М (Сибгагроприбор, Россия).

Семена пшеницы обрабатывали низкотемпературной атмосферной плазмой в соответствии с планом эксперимента, представленного на рисунке 1. Образцы пшеницы были разделены на две группы: необработанные образцы и образцы с электрообработкой (опыт А: НАП с силой тока $I = 5$ мА, опыт Б: НАП с $I = 10$ мА и опыт В: стримерный разряд). Далее проводилась оценка контактного угла смачивания, водопоглощения и микроструктурный анализ.

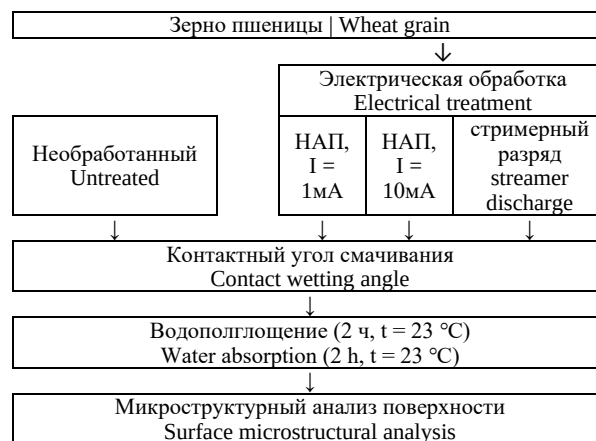


Рисунок 1. Схема проведения испытаний и анализа
Figure 1. Schematic of testing and analysis

Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 2. В качестве источника положительных прямоугольных высоковольтных импульсов использовалась система, состоящая из функционального генератора Agilent 33220A (Agilent Technologies, США) и высоковольтного усилителя Matsusada 20-B-20. (Matsusada Precision Inc, Япония). Максимальное выходное напряжение усилителя составляло 20 кВ.

Низкотемпературная атмосферная плазма возникала при поддержке источника термоэлектронной эмиссии (ТЭ) в виде нити накала (значение активного сопротивления $R_e = 2 \text{ Ом}$, $V = 1,0 \text{ В}$). Амплитудные, длительно-импульсные и формообразующие характеристики тока и напряжения разряда контролировались с помощью осциллографа Twktronix TDS 220 через выход монитора тока и напряжения на высоковольтном усилителе.

Была рассмотрена следующая постановка эксперимента. Зерно пшеницы помещали в диэлектрическую ячейку между электродами без прямого контакта с ними. Расстояние между образцом и электродами составляло $\approx 4 \text{ мм}$. Канал потока разряда располагался перпендикулярно поверхности зерна, как показано на рисунке 2.

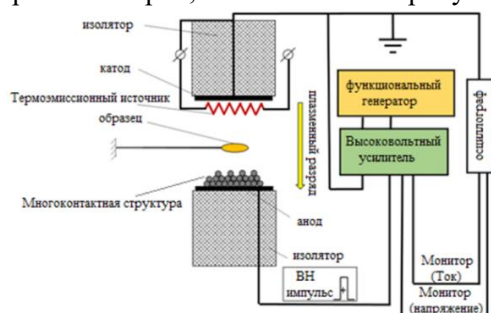


Рисунок 2. Схема экспериментальной установки
Figure 2. Schematic diagram of the experimental setup

Во избежание образования механических ионных каналов при плазменной обработке использовали многоострый анод. Микрочастицы Fe_3O_4 со средним диаметром 60 мкм наносились на поверхность анода в соответствии с технологией [20].

После обработки НАП образцы размещали в контейнере водяной бани с дистиллированной водой при температуре 20°C (Grant OLS 200, Уилтшир, Великобритания). Общее время водопоглощения составило 120 минут. Для получения кинетических кривых водопоглощения все образцы измерялись с интервалами 5, 10, 30, 60 и 120 минут. Для этого увлажненные образцы периодически извлекали, удаляли поверхностную влагу с помощью фильтровальной ткани, анализировали и возвращали в контейнер.

Растровая электронная микроскопия EVO HD 15 (Zeiss, Великобритания) (работающая при ускоряющем напряжении $10,0 \text{ кВ}$ и $15,0 \text{ кВ}$ и оснащенная энергодисперсионной рентгеновской спектроскопией) была использована для наблюдения морфологических особенностей и изменений поверхности после плазменной обработки.

Изменение свойств поверхности характеризовалось контактным углом смачивания θ , который определялся методом лежащей капли [26] с использованием поверхностного микроскопа. Значения углов смачивания определялись с помощью программного пакета DropSnake – LB-ADSA.

Результаты

Быстрые электроны, стартующие с поверхности катода, ускоряются в прикатодном слое под действием внешнего электрического поля. На рисунке 3а представлены экспериментальные результаты вольтамперных характеристик для опытов А, Б и В. Полученная вольтамперная характеристика демонстрирует зависимость, характерную для Туансендовского разряда при низких значениях тока при межэлектродном зазоре 10 мм . При этом величина тока для опытов А, Б и В поддерживается на уровне 2, 10 и 15 мА .

Разряд низкотемпературной атмосферной плазмы в конфигурации "многоострый анод – пластинчатый катод" в соответствии с опытом Б показан на рисунок 3б.

Плазменный канал ярко-белого свечения формируется в межэлектродном промежутке при подаче на анод импульса напряжения положительной полярности. На рисунке 3с показана осциллограмма для протокола В напряжения на электродах лабораторной установки и тока разряда в межэлектродном пространстве при атмосферном давлении воздушной среды. Осциллограмма тока четко показывает задержку увеличения электронного тока относительно момента приложения напряжения на 80 мкс . Затем, через 80 мкс , ток достигает уровня 10 мА в виде яркой нити (рисунок 3б). Продолжительность микроплазменного тока существенно зависит от приложенного напряжения. В частности, длительность составляет 520 мкс при $U = 13,5 \text{ кВ}$ для протокола А и 650 мкс при $U = 14,9 \text{ кВ}$ для протокола В.

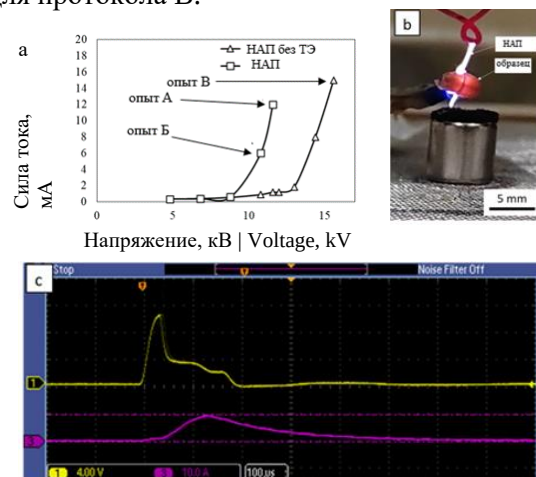


Рисунок 3. Вольт-амперные характеристики для протоколов А, Б и В при межэлектродном зазоре 10 мм (а), визуализация процедуры обработки НАП (б), осциллограмма напряжения (желтая линия) и тока (фиолетовая линия) для воздуха в качестве рабочего газа: 4 кВ/дел ; 10 мА/дел ; 100 мкс/дел

Figure 3. Volt-ampere characteristics for protocols A, B and C at an interelectrode gap of 10 мм (a), visualization of the HAP processing procedure (b), oscillogram of voltage (yellow line) and current (purple line) for air as working gas: 4 кВ/дел ; 10 мА/дел ; 100 мкс/дел

Для характеристики свойств поверхности семян пшеницы, обработанных НАП, использовались значения контактных углов смачивания (рисунок 4).

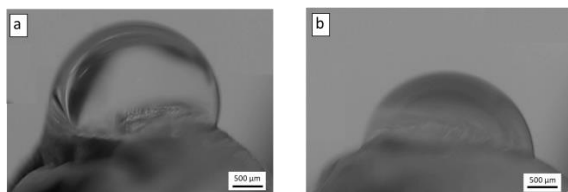


Рисунок 4. Капля воды на поверхности семян пшеницы без обработки (a) и после обработки НАП по опыту Б (b)
Figure 4. Water drop on the surface of wheat seeds without treatment (a) and after HAP treatment in experiment B (b)

Исходная поверхность семян пшеницы характеризуется относительно высокими значениями угла смачивания $\theta = 106^\circ$ (на водной основе) и низкой поверхностной энергией γ . В результате обработки НАП семян пшеницы поверхность становится гидрофильной и характеризуется низкими значениями угла смачивания $\theta = 58^\circ$, а поверхностная энергия γ значительно увеличивается.

Топография поверхности семян до и после обработки НАП показана на рисунок 5. Оболочка семян пшеницы в контрольной группе (рисунок 5, a) представляет собой достаточно ровную и гладкую поверхность. В результате воздействия обработки НАП на оболочку семян (рисунок 5, b) по опыту А на поверхности наблюдались структурные изменения, заключающиеся в проявлении

мелкоячеистой структуры с резко выраженными границами клеток. При дальнейшем увеличении длительности воздействия (опыт Б) или энергии разряда эффект травления поверхности семян усиливался. При переходе к стримерному разряду (опыт В) на поверхности зерна происходили разрушения защитной оболочки в результате обработки (рисунок 5, c).

Семена являются чрезвычайно сложным биологическим объектом, и воздействие низкотемпературной атмосферной плазмы на семена может происходить по нескольким каналам: путем модификации поверхностного слоя семян, за счет реакций с участием электронов, ионов и активных радикалов, ультрафиолетового плазменного излучения и т. д. [8]. С другой стороны, параметры плазменной обработки, такие как свойства плазмы, энергия, состав рабочего газа также оказывают значительное влияние на реакцию семян при воздействии плазмы [1, 2, 29]. Одним из наиболее важных факторов плазменной обработки является величина тока. Так, при низкоэнергетическом воздействии НАП (опыт А) наблюдается незначительный эффект модификации поверхности семян, но, в то же время, значительное увеличение энергии (опыт В) оказывает негативное влияние на семена [10, 30]. Еще одним важным фактором, который необходимо учитывать при плазменной обработке, является вид семян, так как семена различных видов растений могут по-разному реагировать на обработку НАП.

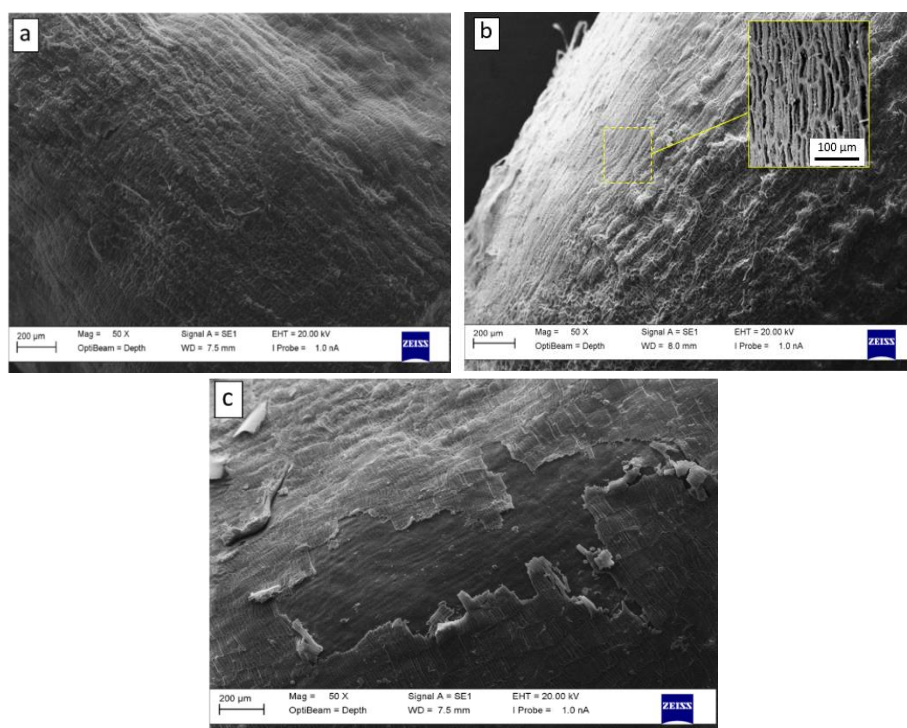


Рисунок 5. Изображения сканирующего электронного микроскопа поверхности семян пшеницы в зоне обработки НАП: без обработки (a), обработка по опыту Б (b), обработка по опыту В (c). Выделенный участок демонстрирует ячеистую структуру
Figure 5. Scanning electron microscope images of wheat seed surface in the area of HAP treatment: without treatment (a), treatment according to experiment B (b), treatment according to experiment C (c). The highlighted area shows a cellular structure

В ряде исследований было отмечено, что плазменная обработка вызывает изменения на поверхности семян [31–33]. Авторами [32] сообщалось, что в результате плазменной обработки поверхности семян пшеницы и овса наблюдались изменения поверхности. Микрофотографии, полученные при сканирующей электронной микроскопии, показали, что после обработки НАП поверхность семян имеет характер травления. Аналогичный эффект был обнаружен [5] при плазменной обработке семян риса. Изменение свойств поверхности семян после плазменной обработки может интенсифицировать перенос кислорода и воды через оболочку семян [31, 32, 34]. В работе [34] было обнаружено, что после плазменной обработки происходит увеличение количества воды в семенах тмина (по сравнению с контрольными образцами).

Кривые поглощения воды необработанными и обработанными НАП образцами по выбранным опытам для зерен пшеницы представлены на рисунке 6. В начальный период замачивания кривая обработанных НАП семян демонстрирует резкий скачок водопоглощения с последующим выходом на плато. При этом стоит отметить, что образцы, обработанные по опыту В с применением стримеров, показали меньший эффект в отличие от образцов, обработанных по опытам А и Б. Как видно из рисунка 6, водопоглощение образцами, обработанными НАП, увеличилось до значения содержания влаги 27, 26,5 и 25% для протоколов Б, А и В соответственно. Образцы зерен пшеницы, обработанные по протоколу Б, показали максимальное поглощение воды.

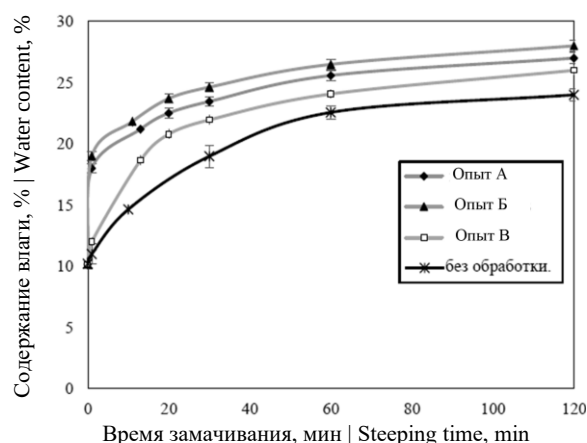


Рисунок 6. Содержание влаги в зернах пшеницы во время гидратации при различных протоколах обработки НАП

Figure 6. Moisture content of wheat grains during hydration under different NAP treatment protocols

Полученные данные свидетельствуют об ускорении процесса поглощения воды семенами пшеницы, обработанными низкотемпературной атмосферной плазмой. Установлено, что более высокое и интенсивное поглощение воды положительно коррелирует с увеличением энергии обработки НАП. В случае режима применения НАП 10 мА наиболее яркое различие было заметно в начальный момент времени, когда семена поглощали на 25,1% больше воды по сравнению с контрольным образцом (рисунок 6). Напротив, более высокий уровень энергии (> 10 мА) вызывает снижение динамики поглощения воды в семенах, обработанных НАП, и, возможно, вызывает повреждение семян вследствие Джоулева тепловыделения. Эти результаты свидетельствуют о том, что обработанные НАП семена впитывают влагу значительно быстрее по сравнению с необработанными семенами. Полученные данные коррелируют с литературными данными о том, что обработка НАП способствовала увеличению поглощения воды до 23,3% через первые 2 часа [16].

Обсуждение

Проведено исследование влияния низкотемпературной атмосферной плазмы слаботочных высоковольтных разрядов на модификацию поверхности семян пшеницы и эффективности водопоглощения. В качестве метода обработки использована авторская методика генерации низкотемпературной атмосферной плазмы при поддержке термоэлектронной эмиссии. Для оценки воздействия применяли анализ поверхности семян методами сканирующей электронной микроскопии и угла смачивания. Значительные модификации поверхности семян пшеницы наблюдались при обработке НАП, не превышающей значения тока 10 мА. Как показали данные исследования поверхности, эффекты травления, вызванные обработкой НАП формируют дополнительный континуум (канал), который способствует более эффективному и равномерному процессу переноса влаги. Такие результаты согласуются с результатами работ при обработке тлеющим разрядом [9].

В данном исследовании наблюдался резкий скачок водопоглощения на начальной стадии для семян, обработанных НАП. Результаты исследования авторов [11] по применению низкотемпературной плазмы к семенам сои продемонстрировали аналогичные результаты.

Также, возможно, что микроплазменный поток участвует в модификации кристаллитов структуры зерна, что приводит к образованию трещин и каналов в структуре семян пшеницы.

При этом, в работе [29] установлено проявление трещин в результате обработки НАП зерен риса. С точки зрения автора, по сравнению с рисом, имеющим твердую овальную структуру в поперечном сечении, зерна пшеницы могут демонстрировать иное поведение. Поперечное сечение ядра пшеницы имеет бороздку [35], что в свою очередь может снизить фактор напряжения во время проникновения микроплазменного потока.

На основании полученных данных можно предположить, что значительные модификации поверхности семян пшеницы напрямую связаны не только с водопоглощением семян, но и с ускорением прорастания.

Кроме того, эффект ускорения водопоглощения может быть основан на эффекте электроосмоса, при котором насыщенная ионами влага под действием электростатики перемещается к соответствующему электроду [36]. Как известно гидрофильность поверхности семян приводит к ускорению прорастания семян, что является одним из направлений развития данной работы.

Заключение

Применение низкотемпературной атмосферной плазмы слаботочных высоковольтных разрядов может быть использовано для модификации поверхности семян и ускорения водопоглощения зернами пшеницы. Увеличение приложенной энергии НАП может привести

к значительному улучшению водопоглощения. Однако, при переходе к стримерному разряду увеличение тока приводит к негативным эффектам: термический дефект и возникновение продуктов горения. Обработка НАП продемонстрировала влияние на поверхность семян с образованием мелкоячеистой структуры. Данная модификация может способствовать образованию дополнительного континуума (канала), который приводит к более эффективному и равномерному водопоглощению.

Благодаря преимуществам обработки низкотемпературной атмосферной плазмы слаботочных высоковольтных разрядов (однородность обработки, отсутствие разрушения семян, отсутствие новых химических образований), данная технология может стать эффективной альтернативой традиционной предпосевной обработке семян, применяемой в настоящее время в сельском хозяйстве.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № МФИ-20.1/42. Исследования в части моделирования проводились на оборудовании Научно-исследовательского центра пищевых и химических технологий КубГТУ (СКР_3111), разработка которого поддержана Министерством науки и высшего образования РФ (соглашение № 075-15-2021-679).

Литература

- 1 Misra N.N., Schlüter O., Cullen P.J. Cold plasma in food and agriculture: fundamentals and applications. Academic Press, 2016. P. 205–221. doi: 10.1016/B978-0-12-801365-6.00008-1.
- 2 Ekezie F.G.C., Sun D.W., Cheng J.H. A review on recent advances in cold plasma technology for the food industry: Current applications and future trends // Trends in food science & technology. 2017. V. 69. P. 46-58. doi: 10.1016/j.tifs.2017.08.007
- 3 Hashizume H., Kitano H., Mizuno H., Abe A. et al. Improvement of yield and grain quality by periodic cold plasma treatment with rice plants in a paddy field // Plasma Processes and Polymers. 2021. V. 18. №. 1. P. 2000181. doi: 10.1002/ppap.202000181
- 4 Mravljje J., Regvar M., Vogel-Mikuš K. Development of cold plasma technologies for surface decontamination of seed fungal pathogens: Present status and perspectives // Journal of Fungi. 2021. V. 7. №. 8. P. 650. doi: 10.3390/jof7080650
- 5 Misnal M.F.I., Redzuan N., Zainal M.N.F., Ahmad N. et al. Cold Plasma: A Potential Alternative for Rice Grain Postharvest Treatment Management in Malaysia // Rice Sci. 2022. V. 29. № 1. P. 1–15. doi: 10.1016/j.rsci.2021.12.001
- 6 Filatova I., Lyushkevich V., Goncharik S., Zhukovsky A. et al. The effect of low-pressure plasma treatment of seeds on the plant resistance to pathogens and crop yields // Journal of Physics D: Applied Physics. 2020. V. 53. №. 24. P. 244001. doi: 10.1088/1361-6463/ab7960
- 7 Дубинов А.Е., Лазаренко Е.Р., Селемир В.Д. Влияние воздушной плазмы тлеющего разряда на семена зерновых культур // IEEE Транзакции по плазменной науке. 2000. Т. 28. № 1. С. 180–183. doi: 10.1109/27.842898
- 8 Scholtz V., Šerá B., Khun J., Šerý M et al. Effects of Nonthermal Plasma on Wheat Grains and Products // J. Food Qual. 2019. 7917825. doi: 10.1155/2019/7917825
- 9 Балданов Б.Б., Ранжуров Т.Б., Сордонова М.Н., Будажапов Л.В. Изменение свойств и структуры поверхности зерен под воздействием тлеющего разряда при атмосферном давлении // Доклады по физике плазмы. 2020. Т. 46. № 1. С. 110–114. doi: 10.1134/S1063780X2001002X
- 10 Randeniya L.K., de Groot G.J.J.B. Non-Thermal Plasma Treatment of Agricultural Seeds for Stimulation of Germination, Removal of Surface Contamination and Other Benefits: A Review // Plasma Process. Polym. 2015. V.12 (7). P. 608–623. doi: 10.1002/ppap.201500042
- 11 Li L., Jiang J., Li J., Shen M. et al. Effects of Cold Plasma Treatment on Seed Germination and Seedling Growth of Soybean // Sci. Rep. 2014. V. 4 (1). P. 1–7. doi: 10.1038/srep05859
- 12 de Groot, G.J.J.B., Hundt A., Murphy A.B., Bange M.P. et al. Cold Plasma Treatment for Cotton Seed Germination Improvement // Sci. Rep. 2018. V. 8 (1). P. 14372. doi: 10.1038/s41598-018-32692-9

- 13 Chaple S., Sarangapani C., Jones J., Carey E. et al. Effect of Atmospheric Cold Plasma on the Functional Properties of Whole Wheat (*Triticum Aestivum* L.) Grain and Wheat Flour // *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 2020. V. 66. P. 102529. doi: 10.1016/j.ifset.2020.102529
- 14 Los A., Ziuzina D., Boehm D., Cullen P.J. et al. Investigation of Mechanisms Involved in Germination Enhancement of Wheat (*Triticum Aestivum*) by Cold Plasma: Effects on Seed Surface Chemistry and Characteristics // *Plasma Process. Polym.* 2019. V. 16 (4). P. 1–12. doi: 10.1002/ppap.201800148
- 15 Zhang B., Li R., Yan J. Study on Activation and Improvement of Crop Seeds by the Application of Plasma Treating Seeds Equipment // *Arch. Biochem. Biophys.* 2018. V. 655. P. 37–42. doi: 10.1016/j.abb.2018.08.004
- Stolárik T., Henselová M., Martinka M., Novák O. et al. Effect of Low-Temperature Plasma on the Structure of Seeds, Growth and Metabolism of Endogenous Phytohormones in Pea (*Pisum Sativum* L.) // *Plasma Chem. Plasma Process.* 2015. V. 35 (4). P. 659–676. doi: 10.1007/s11090–015–9627–8
- 16 Karim N., Shishir M.R.I., Bao T., Chen W. Effect of Cold Plasma Pretreated Hot-Air Drying on the Physicochemical Characteristics, Nutritional Values and Antioxidant Activity of Shiitake Mushroom // *J. Sci. Food Agric.* 2021. doi: 10.1002/jsfa.11296
- 17 Pothiraja R., Lackmann J.–W., Keil G., Bibinov N. et al. Biological Decontamination Using Pulsed Filamentary Microplasma Jet. In *Plasma for Bio-Decontamination // Medicine and Food Security*; Springer. 2012. P. 45–55.
- 18 Ahn J.Y., Kil D.Y., Kong C., Kim B.G. Comparison of Oven-Drying Methods for Determination of Moisture Content in Feed Ingredients // *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 2014. V. 27 (11). P. 1615–1622. doi: 10.5713/ajas.2014.14305
- 19 Шпорсткий И.А., Яковлев Н. Метод формирования поглощающего материала на основе магнитоуправляемых частиц Fe₃O₄ // *Неорганические материалы: прикладные исследования.* 2020. V. 11 (5). doi: 10.1134/S2075113320050317
- 20 Реймер Л.А. Сканирующая электронная микроскопия: Физика формирования изображений и микроанализа. Спрингер, 2013. Т. 45.
- 21 Westover T.L., Franklin A.D., Cola B.A., Fisher T.S. et al. Photo-and thermionic emission from potassium-intercalated carbon nanotube arrays // *Journal of Vacuum Science & Technology B, Nanotechnology and Microelectronics: Materials, Processing, Measurement, and Phenomena.* 2010. V. 28. №. 2. P. 423–434. doi: 10.1116/1.3368466
- 22 James M.C., Fogarty F., Zulkarnay R., Fox N.A. et al. A review of surface functionalisation of diamond for thermionic emission applications // *Carbon.* 2021. V. 171. P. 532–550. doi: 10.1016/j.carbon.2020.09.019
- 23 Liang S.J., Ang L.K. Electron thermionic emission from graphene and a thermionic energy converter // *Physical Review Applied.* 2015. V. 3. №. 1. P. 014002. doi: 10.1103/PhysRevApplied.3.014002
- 24 Sommerfeld A. *Electrodynamics: Lectures on Theoretical Physics.* Academic Press, 2013. V. 3.
- 25 Tang H., Cheng X. Measurement of Liquid Surface Tension by Fitting the Lying Droplet Profile // *Measurement.* 2022. V. 188. P. 110379. doi: 10.1016/j.measurement.2021.110379
- 26 Шпорсткий И.А., Яковлев Н. Экспериментальное исследование таунсендовского разряда с многоточечным катодом на динамической платформе из магнитоуправляемых частиц Fe и Fe – Al // *Журнал технической физики.* 2021. Т. 66 (8). С. 1276–1285. doi:10.1134/S1063784221080144
- 27 Шпорсткий И.А. Предварительная обработка холодной плазмой при сушке растительного сырья // *Пищевые процессы. Техника и технология пищевых производств.* 2022. Т. 52. № 3. С. 613–622. doi: 10.21603/2074-9414-2022-3-2391
- 28 Yodpitak S., Mahatheeranont S., Boonyawan D., Sookwong P. et al. Cold plasma treatment to improve germination and enhance the bioactive phytochemical content of germinated brown rice // *Food chemistry.* 2019. V. 289. P. 328–339. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.03.061
- 29 Henselová M., Slováková Ľ., Martinka M., Zahoranová A. Growth, anatomy and enzyme activity changes in maize roots induced by treatment of seeds with low-temperature plasma // *Biologia.* 2012. V. 67. P. 490–497. doi: 10.2478/s11756–012–0046–5
- 30 Dhayal M., Lee S.Y., Park S.U. Using low-pressure plasma for *Carthamus tinctorium* L. seed surface modification // *Vacuum.* 2006. V. 80. №. 5. P. 499–506. doi: 10.1016/j.vacuum.2005.06.008
- 31 Sera B., Spatenka P., Serý M., Vrchotova N. et al. Influence of plasma treatment on wheat and oat germination and early growth // *IEEE Transactions on Plasma Science.* 2010. V. 38. №. 10. P. 2963–2968. doi: 10.1109/TPS.2010.2060728
- 32 Петрухина Д.И., Полякова И.В., Горбатов С.А. биоцидная эффективность нетермальной аргоновой плазмы атмосферного давления // *Пищевые процессы. Техника и технология пищевых производств.* 2021. V. 51 (1). P. 86–97. doi: 10.21603/2074–9414–2021–1–86–97
- 33 Rasooli Z., Barzin G., Mahabadi T.D., Entezari M. Stimulating effects of cold plasma seed priming on germination and seedling growth of cumin plant // *South African Journal of Botany.* 2021. V. 142. P. 106–113. doi: 10.1016/j.sajb.2021.06.025
- 34 Rathjen J.R., Strounina E.V., Mares D.J. Water movement into dormant and non-dormant wheat (*Triticum aestivum* L.) grains // *Journal of experimental botany.* 2009. V. 60. №. 6. P. 1619–1631. doi: 10.1093/jxb/erp037
- 35 Qiu L., Zhang M., Tang J., Adhikari B. et al. Innovative technologies for producing and preserving intermediate moisture foods: A review // *Food research international.* 2019. V. 116. P. 90–102. doi: 10.1016/j.foodres.2018.12.055
- 36 Misnal M.F.I., Redzuan N., Zainal M.N.F., Ibrahim R.K.R. et al. Emerging cold plasma treatment on rice grains: A mini review // *Chemosphere.* 2021. V. 274. P. 129972. doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129972

References

- 1 Misra N.N., Schlüter O., Cullen P.J. Cold plasma in food and agriculture: fundamentals and applications. Academic Press, 2016. pp. 205–221. doi: 10.1016/B978–0–12–801365–6.00008–1
- 2 Ekezie F.G.C., Sun D.W., Cheng J.H. A review on recent advances in cold plasma technology for the food industry: Current applications and future trends. *Trends in food science & technology.* 2017. vol. 69. pp. 46–58. doi: 10.1016/j.tifs.2017.08.007
- 3 Hashizume H., Kitano H., Mizuno H., Abe A. et al. Improvement of yield and grain quality by periodic cold plasma treatment with rice plants in a paddy field. *Plasma Processes and Polymers.* 2021. vol. 18. no. 1. pp. 2000181. doi: 10.1002/ppap.202000181

- 4 Mravlje J., Regvar M., Vogel-Mikuš K. Development of cold plasma technologies for surface decontamination of seed fungal pathogens: Present status and perspectives. *Journal of Fungi*. 2021. vol. 7. no. 8. pp. 650. doi: 10.3390/jof7080650
- 5 Misnal M.F.I., Redzuan N., Zainal M.N.F., Ahmad N. et al. Cold Plasma: A Potential Alternative for Rice Grain Postharvest Treatment Management in Malaysia. *Rice Sci*. 2022. vol. 29. no. 1. pp. 1–15. doi: 10.1016/j.rsci.2021.12.001
- 6 Filatova I., Lyushkevich V., Goncharik S., Zhukovsky A. et al. The effect of low-pressure plasma treatment of seeds on the plant resistance to pathogens and crop yields. *Journal of Physics D: Applied Physics*. 2020. vol. 53. no. 24. pp. 244001. doi: 10.1088/1361-6463/ab7960
- 7 Dubinov A.E., Lazarenko E.R., Selemir V.D. The influence of air plasma from a glow discharge on grain seeds. *IEEE Transactions on Plasma Science*. 2000. vol. 28. no. 1. pp. 180–183. doi: 10.1109/27.842898 (in Russian).
- 8 Scholtz V., Šerá B., Khun J., Šerý M et al. Effects of Nonthermal Plasma on Wheat Grains and Products. *J. Food Qual*. 2019. 7917825. doi: 10.1155/2019/7917825
- 9 Baldanov B.B., Ranzhurov T.V., Sordonova M.N., Budazhapov L.V. Changes in the properties and structure of the surface of grains under the influence of a glow discharge at atmospheric pressure. *Reports on plasma physics*. 2020. vol. 46. no. 1. pp. 110–114. doi: 10.1134/S1063780X2001002X (in Russian).
- 10 Randeniya L.K., de Groot G.J.J.B. Non-Thermal Plasma Treatment of Agricultural Seeds for Stimulation of Germination, Removal of Surface Contamination and Other Benefits: A Review. *Plasma Process. Polym*. 2015. vol. 12 (7). pp. 608–623. doi: 10.1002/ppap.201500042
- 11 Li L., Jiang J., Li J., Shen M. et al. Effects of Cold Plasma Treatment on Seed Germination and Seedling Growth of Soybean. *Sci. Rep*. 2014. vol. 4 (1). pp. 1–7. doi: 10.1038/srep05859
- 12 de Groot, G.J.J.B., Hundt A., Murphy A.B., Bange M.P. et al. Cold Plasma Treatment for Cotton Seed Germination Improvement. *Sci. Rep*. 2018. vol. 8 (1). pp. 14372. doi: 10.1038/s41598-018-32692-9
- 13 Chaple S., Sarangapani C., Jones J., Carey E. et al. Effect of Atmospheric Cold Plasma on the Functional Properties of Whole Wheat (*Triticum Aestivum* L.) Grain and Wheat Flour. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol*. 2020. vol. 66. pp. 102529. doi: 10.1016/j.ifset.2020.102529
- 14 Los A., Ziuzina D., Boehm D., Cullen P.J. et al. Investigation of Mechanisms Involved in Germination Enhancement of Wheat (*Triticum Aestivum*) by Cold Plasma: Effects on Seed Surface Chemistry and Characteristics. *Plasma Process. Polym*. 2019. vol. 16 (4). pp. 1–12. doi: 10.1002/ppap.201800148
- 15 Zhang B., Li R., Yan J. Study on Activation and Improvement of Crop Seeds by the Application of Plasma Treating Seeds Equipment. *Arch. Biochem. Biophys*. 2018. vol. 655. pp. 37–42. doi: 10.1016/j.abb.2018.08.004
- 16 Stolárik T., Henselová M., Martinka M., Novák O. et al. Effect of Low-Temperature Plasma on the Structure of Seeds, Growth and Metabolism of Endogenous Phytohormones in Pea (*Pisum Sativum* L.). *Plasma Chem. Plasma Process*. 2015. vol. 35 (4). pp. 659–676. doi: 10.1007/s11090-015-9627-8
- 17 Karim N., Shishir M.R.I., Bao T., Chen W. Effect of Cold Plasma Pretreated Hot-Air Drying on the Physicochemical Characteristics, Nutritional Values and Antioxidant Activity of Shiitake Mushroom. *J. Sci. Food Agric*. 2021. doi: 10.1002/jsfa.11296
- 18 Pothiraja R., Lackmann J.-W., Keil G., Bibinov N. et al. Biological Decontamination Using Pulsed Filamentary Microplasma Jet. In *Plasma for Bio-Decontamination. Medicine and Food Security*; Springer. 2012. pp. 45–55.
- 19 Ahn J.Y., Kil D.Y., Kong C., Kim B.G. Comparison of Oven-Drying Methods for Determination of Moisture Content in Feed Ingredients. *Asian-Australasian J. Anim. Sci*. 2014. vol. 27 (11). pp. 1615–1622. doi: 10.5713/ajas.2014.14305
- 20 Shorstkiy I.A., Yakovlev N. Method of forming an absorbing material based on magnetically controlled Fe₃O₄ particles. *Inorganic materials: applied research*. 2020. vol. 11 (5). doi: 10.1134/S2075113320050317 (in Russian).
- 21 Reimer L.A. *Scanning electron microscopy: The physics of imaging and microanalysis*. Springer, 2013. vol. 45. (in Russian).
- 22 Westover T.L., Franklin A.D., Cola B.A., Fisher T.S. et al. Photo-and thermionic emission from potassium-intercalated carbon nanotube arrays. *Journal of Vacuum Science & Technology B, Nanotechnology and Microelectronics: Materials, Processing, Measurement, and Phenomena*. 2010. vol. 28. no. 2. pp. 423-434. doi: 10.1116/1.3368466
- 23 James M.C., Fogarty F., Zulkarnay R., Fox N.A. et al. A review of surface functionalisation of diamond for thermionic emission applications. *Carbon*. 2021. vol. 171. pp. 532-550. doi: 10.1016/j.carbon.2020.09.019
- 24 Liang S.J., Ang L.K. Electron thermionic emission from graphene and a thermionic energy converter. *Physical Review Applied*. 2015. vol. 3. no. 1. pp. 014002. doi: 10.1103/PhysRevApplied.3.014002
- 25 Sommerfeld A. *Electrodynamics: Lectures on Theoretical Physics*. Academic Press, 2013. vol. 3.
- 26 Tang H., Cheng X. Measurement of Liquid Surface Tension by Fitting the Lying Droplet Profile. *Measurement*. 2022. vol. 188. pp. 110379. doi: 10.1016/j.measurement.2021.110379
- 27 Shorstkiy I.A., Yakovlev N. Experimental study of a Townsend discharge with a multipoint cathode on a dynamic platform of magnetically controlled Fe and Fe – Al particles. *Journal of Technical Physics*. 2021. vol. 66 (8). pp. 1276–1285. doi:10.1134/S1063784221080144 (in Russian).
- 28 Shorstkiy I.A. Preliminary treatment with cold plasma during drying of plant raw materials. *Food processes. Equipment and technology of food production*. 2022. vol. 52. no. 3. pp. 613–622. doi: 10.21603/2074-9414-2022-3-2391 (in Russian).
- 29 Yodpitak S., Mahatheeranont S., Boonyawan D., Sookwong P. et al. Cold plasma treatment to improve germination and enhance the bioactive phytochemical content of germinated brown rice. *Food chemistry*. 2019. vol. 289. pp. 328-339. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.03.061
- 30 Henselová M., Slováková Ľ., Martinka M., Zahoranová A. Growth, anatomy and enzyme activity changes in maize roots induced by treatment of seeds with low-temperature plasma. *Biologia*. 2012. vol. 67. pp. 490-497. doi: 10.2478/s11756-012-0046-5
- 31 Dhayal M., Lee S.Y., Park S.U. Using low-pressure plasma for *Carthamus tinctorius* L. seed surface modification. *Vacuum*. 2006. vol. 80. no. 5. pp. 499-506. doi: 10.1016/j.vacuum.2005.06.008

- 32 Sera B., Spatenka P., Serý M., Vrchotova N. et al. Influence of plasma treatment on wheat and oat germination and early growth. IEEE Transactions on Plasma Science. 2010. vol. 38. no. 10. pp. 2963-2968. doi: 10.1109/TPS.2010.2060728
- 33 Petrukhina D.I., Polyakova I.V., Gorbato S.A. biocidal effectiveness of non-thermal argon plasma at atmospheric pressure. Food processes. Equipment and technology of food production. 2021. vol. 51 (1). pp. 86–97. doi: 10.21603/2074–9414–2021–1–86–97 (in Russian).
- 34 Rasooli Z., Barzin G., Mahabadi T.D., Entezari M. Stimulating effects of cold plasma seed priming on germination and seedling growth of cumin plant. South African Journal of Botany. 2021. vol. 142. pp. 106-113. doi: 10.1016/j.sajb.2021.06.025
- 35 Rathjen J.R., Strounina E.V., Mares D.J. Water movement into dormant and non-dormant wheat (*Triticum aestivum* L.) grains. Journal of experimental botany. 2009. vol. 60. no. 6. pp. 1619-1631. doi: 10.1093/jxb/erp037
- 36 Qiu L., Zhang M., Tang J., Adhikari B. et al. Innovative technologies for producing and preserving intermediate moisture foods: A review. Food research international. 2019. vol. 116. pp. 90-102. doi: 10.1016/j.foodres.2018.12.055
- 37 Misnal M.F.I., Redzuan N., Zainal M.N.F., Ibrahim R.K.R. et al. Emerging cold plasma treatment on rice grains: A mini review. Chemosphere. 2021. vol. 274. pp. 129972. doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129972

Сведения об авторах

Иван А. Шорсткий к.т.н., доцент, кафедра технологического оборудования и систем жизнеобеспечения, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, Краснодарский край 350072, Россия, thegector@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8270-628X>

Емад Х.А. Мунассар аспирант, кафедра технологического оборудования и систем жизнеобеспечения, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, Краснодарский край 350072, Россия, emadmounasar@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-5804-7950>

Вклад авторов

Иван А. Шорсткий обеспечение ресурсами, подготовка эксперимента, проведение экспериментов, формирование основной концепции, постановка цели и задачи исследования, подготовка текста, формулировка выводов

Емад Х.А. Мунассар формирование основной концепции, постановка цели и задачи исследования, подготовка текста, проведение расчетов, испытаний образцов, формулировка выводов

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Ivan A. Shorstkii Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technological equipment and life support systems department, Kuban State Technological University, 2, Moskovskaya Str., 350072, Krasnodar, Russia, thegector@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8270-628X>

Emad H.A. Mounassar graduate student, technological equipment and life support systems department, Kuban State Technological University, 2, Moskovskaya Str., 350072, Krasnodar, Russia, emadmounasar@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-5804-7950>

Contribution

Ivan A. Shorstkii provision of the resources, preparation and management of the experiments, conducting the experiments, formation of the main concept, goal and objectives of the study; writing the text, formulation of the conclusions.

Emad H.A. Mounassar formation of the main concept, goal and objectives of the study; writing the text, conducting the calculations, testing the samples, formulation of the conclusions

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 12/04/2023	После редакции 03/05/2023	Принята в печать 22/05/2023
Received 12/04/2023	Accepted in revised 03/05/2023	Accepted 22/05/2023

Разработка SCADA-проекта процесса выпаривания молока в двухкорпусной вакуум-выпарной установке

Дмитрий М. Бородулин¹borodulin@rgau-msha.ru 0000-0003-3035-0354¹ Российский государственный аграрный университет МСХА имени К.А.Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 127434, Россия

Аннотация. Одним из компонентов систем автоматизации производства остаются средства человеко-машинного интерфейса. Внешний вид и функциональные способности не могут стоять на месте так же, как и автоматизация, в связи с этим в данной работе освещена одна из важных сторон автоматизации пищевого производства – человеко-машинный интерфейс, направленный на совершенствование рабочего места оператора. На диспетчерском уровне автоматизации необходимо предусмотреть решение всего спектра поставленных задач, поставленных в ходе выполнения данного проекта. Целями создания проекта являются сокращение времени на принятия решения персоналом, поскольку, результативность предприятия частично зависит от скорости выполнения задачи, оповещение об опасности и нарушениях, а также предотвращение аварийных и нештатных ситуаций процессе выпаривания молока, хранение и архивация данных о протекании процесса, необходимые для составления отчетов, применяемых для расследований причин возникновения любой аварийной ситуации при выпаривании молока. Представлен проект человеко-машинного интерфейса процесса выпаривания молока, разработанный в среде TRACE MODE. Особенностью TRACE MODE является технология единой линии программирования, то есть возможность разработки всех модулей АСУ при помощи одного инструмента. В разработанном проекте человеко-машинного интерфейса процесса выпаривания молока предполагается использование двух основных операторских станций и одной резервной. Два из них для рабочих мест операторов и - резервный, используемый в аварийных ситуациях. Разработанный проект в среде TRACE MODE позволяет усовершенствовать рабочее место оператора вакуум-выпарной установки, сократить время необходимое на реагирование и принятие решений персоналом. Кроме того, система сигнализации автоматической сигнализации позволяет снизить количество брака продукции, и, соответственно, повысить выпуск и снизить себестоимость продукции на единицу сырья. Разработанный проект полностью удовлетворяет техническому заданию и внедрен на производство.

Ключевые слова: сгущенное молоко, автоматизация, молоко, выпаривание, машинный интерфейс

SCADA project for milk evaporation in double-effect evaporators

Dmitriy M. Borodulin¹borodulin@rgau-msha.ru 0000-0003-3035-0354¹ Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, st. Timiryazevskaya, 49, Moscow, 127434, Russia

Abstract. Human-machine interface tools remain one of the components of production automation systems. Appearance and functional abilities cannot stand still in the same way as automation, in this regard, one of the important aspects of food production automation is highlighted in this paper – a human-machine interface aimed at improving the operator's workplace. At the dispatcher level of automation, it is necessary to provide for the solution of the entire range of tasks set during the implementation of this project. The objectives of the project are to reduce the time for decision-making by personnel, since the effectiveness of the enterprise partially depends on the speed of the task, notification of hazards and violations, as well as the prevention of emergency and abnormal situations during the evaporation of milk, storage and archiving of data on the course of the process necessary for the preparation of reports used to investigate the causes of any emergency when evaporating milk. The project of the human-machine interface of the milk evaporation process, developed in the TRACE MODE environment, is presented. A feature of TRACE MODE is the technology of a single programming line, that is, the ability to develop all the ACS modules using a single tool. In the developed project of the human-machine interface of the milk evaporation process, it is assumed to use two main operator stations and one backup. Two of them are for operator workstations and a backup one used in emergency situations. The developed project in the TRACE MODE environment makes it possible to improve the workplace of the operator of the vacuum evaporation plant, reduce the time required for response and decision-making by personnel. In addition, the automatic alarm system allows you to reduce the number of defective products, and, accordingly, increase output and reduce the cost of production per unit of raw materials. The developed project fully satisfies the technical task and has been put into production.

Keywords: condensed milk, automation, milk, evaporation, machine interface

Введение

Автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП) производства сгущенного молока предназначена для решения задач контроля, защиты, сигнализации, автоматического регулирования основных и вспомогательных технологических параметров объекта [1–3]

Целью разработки SCADA-проекта указанного процесса является обеспечение человеко-

машинного интерфейса (НМИ) между оператором и автоматизированной системой управления технологическим процессом (АСУТП) выпаривания молока.

Материалы и методы

Требования к информационным функциям АСУТП представлены в таблицах 1, 2.

Место и способ представления переменных – на экране монитора АРМ оператора в цифровом и графическом виде.

Для цитирования

Бородулин Д.М. Разработка SCADA-проекта процесса выпаривания молока в двухкорпусной вакуум-выпарной установке // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 2. С. 32–37. doi:10.20914/2310-1202-2023-2-32-37

For citation

Borodulin D. M. SCADA project for milk evaporation in double-effect evaporators. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 2. pp. 32–37. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-2-32-37

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

Таблица 1.

Требования к функциям контроля [4, 5]

Table 1.

Requirements for control functions [4, 5]

Наименование контролируемой технологической переменной Process variable to be monitored	Диапазон изменения, абс. ед. Range of variation, abs. units	Точность контроля, абс. ед. Accuracy of control, abs.
Расход исходного молока Feed-to-evaporation ratio	1–25 т/ч	$\pm 0,25 \pm 0,5$ т/ч
2) Давление греющего пара перед эжектором Heating steam pressure upstream of the ejector	0,8–1 МПа	$\pm 18/\pm 36$ кПа
3) Давление охлаждающей воды перед поверхностным конденсатором Cooling water pressure upstream of the surface condenser	0,13–0,17 МПа	$\pm 18/\pm 36$ кПа
4) Разрежение на конденсаторе Condenser vacuum	0,08–0,095 МПа	$\pm 18/\pm 36$ кПа
5) Температура охлаждающей воды перед конденсатором Cooling water temperature upstream of the condenser	18–200 °C	$\pm 1/\pm 2$ °C
6) Температура пара в первом сепараторе Steam temperature in the first separator	67–690 °C	$\pm 1/\pm 2$ °C
7) Температура пара во втором сепараторе Steam temperature in the second separator	49–510 °C	$\pm 1/\pm 2$ °C
8) Температура пара в первом калоризаторе Steam temperature in the first calandria	84–860 °C	$\pm 1/\pm 2$ °C
9) Температура пара во втором калоризаторе Steam temperature in the second calandria	67–690 °C	$\pm 1/\pm 2$ °C
10) Уровень кипящего продукта в пароотделителях Boiling level in steam separators	0–35%	$\pm 1/\pm 2$ °C
11) Уровень кипящего продукта в испарителях Boiling level in evaporators	0–90%	$\pm 0,9 \pm 1,8$ г/см ³
12) Плотность готового продукта Density of outputs	1,2–1,3 г/см ³	$\pm 0,05/\pm 0,1$ г/см ³

Таблица 2.

Требования к системам автоматического регулирования

Table 2.

Requirements for automated control systems

Наименование регулируемой переменной Variable to be monitored	Уздн Yspec	Допустимые значения прямых показателей качества Acceptable direct quality indices				
		Y_{cm}^d Y_{st}^d	$Y_{оин}^d$ Y_{dyn}^d	t_p t	ψ^o ψ^d	
1) Температура молока после подогревателей 1) Milk temperature after heaters	105 °C	±1 °C	±4 °C	15 мин	>0,75	
2) Расход исходного молока 2) Consumption of raw milk	25 т/ч	±0,25 т/ч	±1 т/ч	1 мин	>0,75	
3) Плотность готового продукта 3) Density of outputs	1,3 г/мс³	±0,25%	±1%	20 мин	>0,75	
4) Расход пара перед двухступенчатым эжектором 4) Steam flow upstream of two-stage ejector	16 т/ч	±16т/ч	±1 т/ч	1 мин	>0,75	
5) Расход холодной воды перед поверхностным конденсатором 5) Cold flow upstream of surface condenser	12 т/ч	±0,12 т/ч	±1 т/ч	1 мин	>0,75	

Технологическая схема процесса сгущения молока показана на рисунке 1. В качестве объекта регулирования выбран участок изменения плотности готового продукта после пароотделителя (рисунок 2) [6].

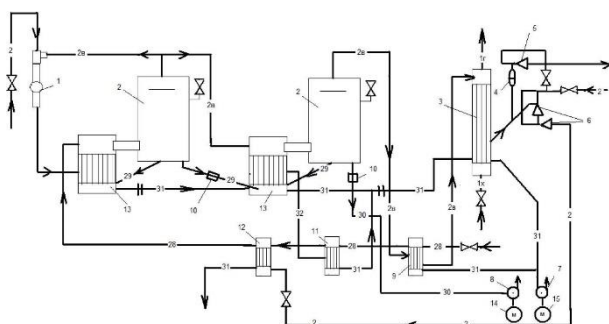


Рисунок 1. Технологическая схема процесса сгущения молока

Figure 1. Flow chart for milk condensation

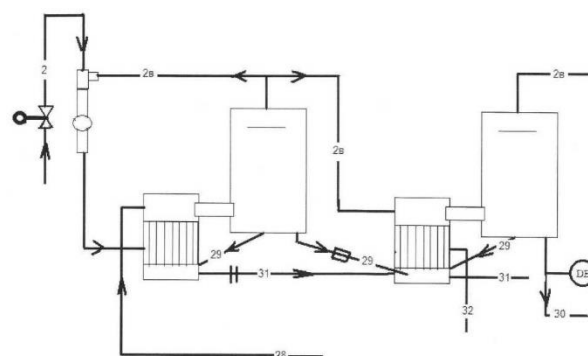


Рисунок 2. Участок процесса, выбранный как объект автоматизации

Figure 2. Section selected for automation

Таблица 3.

Условные обозначения оборудования и материальных потоков

Table 3.

Equipment and material flow symbols

№	Оборудование Equipment	Материальный поток Material flow
1	Инжектор Injector	1х холодная вода 1x cold water
2	Пароотделитель Vapor separator	1г горячая вода 1g hot water
3	Поверхностный конденсатор Surface condenser	2 пар (первичный) 2 steam (primary)
4	Шиббер Schieber	2в вторичный пар 2c secondary steam
5	Пусковой эжектор Starting ejector	28 молоко 28 milk
6	Двухступенчатый эжектор Two-stage ejector	29 частично подсгущенное молоко 29 partially thickened milk
7	Вакуум-насос для откачивания конденсата Vacuum pump for condensate evacuation	30 сгущенное молоко 30 condensed milk
8	Вакуум-насос для откачивания сгущенного молока Vacuum pump for condensed milk evacuation	31 конденсат 31 condensate
9	Подогреватель первой ступени First stage heater	
10	Дроссельный клапан для откачивания сгущенного молока Throttle valve for evacuation of condensed milk	
11	Подогреватель второй ступени Second stage heater	
12	Подогреватель третьей ступени Third stage heater	
13	Испарители Evaporators	
14, 15	Двигатели Engines	

Произведя подсчёт всех типов сигналов, используемых на контроллерном уровне АСУ ТП, было определено количество выходов каждого типа:

- аналоговый ввод (AI) для термосопротивлений – 6 шт.;
- аналоговый вывод (AO) для сигнала 4–20 мА – 18 шт.;
- дискретный ввод (DI) – 2 шт.;
- дискретный вывод (DO) – 12 шт.

Проведя анализ модулей контроллера MIF-PPC и количества сигналов ввода и вывода, выбираем следующие модули:

1 модуль MIRage-FPT и 1 субмодуль PB-RS485T для подключения до 8 термометров сопротивления;

3 БПИ TFCUR и 3 субмодуля PB-V35T для подключения до 8 датчиков с унифицированным токовым сигналом 4–20 мА;

1 БПИ TFDIN3 и 1 субмодуль PB-DIN3T для подключения до 20 дискретных сигналов;

1 БПИ TFDOUT2 и 1 субмодуль PB-D016T для подключения до 16-ти дискретных управляющих сигналов с выходным напряжением 24В.

На диспетчерском уровне автоматизации необходимо предусмотреть решение всего спектра задач оператора и их удобное выполнение с автоматизированного рабочего места (АРМ). Для каждого из участков помимо общей формы необходимы формы, конкретизирующие работу отдельных аппаратов и систем регулирования, поэтому с этой формы должен быть обеспечен доступ к ряду дополнительных форм [9–20]. Предполагается создать следующие формы:

- пароотделитель, испаритель, инжектор;
- пароотделитель, испаритель;
- пусковой эжектор, двухступенчатый эжектор, поверхностный конденсатор;
- подогреватели первой, второй и третьей ступеней.

Результаты

Для разработки SCADA-проекта рассматриваемого процесса разработана схема взаимодействия экранных форм (рисунок 3). Для удобства управления участками помимо связей, указанных на рисунке 3, в передлах каждого из них предусматривается возможность перехода между всеми локальными формами.

Для дальнейшего программирования параллельно введем краткие обозначение для требуемых параметров.

Аппараты:

Форма 1 (пароотделитель, испаритель, инжектор): пароотделитель П1, испаритель И1, инжектор Ин, регулирующий клапан SV5.

Форма 2 (пароотделитель, испаритель): пароотделитель П2, испаритель И2.

Форма 3 (пусковой эжектор, двухступенчатый эжектор, поверхностный конденсатор): пусковой эжектор ПЭ, двухступенчатый эжектор ДЭ, поверхностный конденсатор ПК, регулирующий клапан SV3, регулирующий клапан SV4.

Форма 4 (подогреватели первой, второй и третьей ступеней): подогреватели первой ступени ПД1, подогреватель второй ступени ПД2, подогреватель третьей ступеней ПД3, насос М1, насос М2, регулирующий клапан SV1, регулирующий клапан SV2.

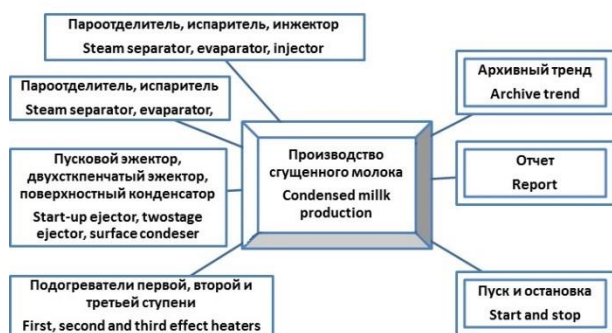


Рисунок 3. Схема взаимодействия экранных форм разрабатываемого узла

Figure 3. Schematic for screen interactions of the developed node

В разрабатываемом проекте АСУТП предполагается использование двух основных операторских станций и одной резервной [7,8],

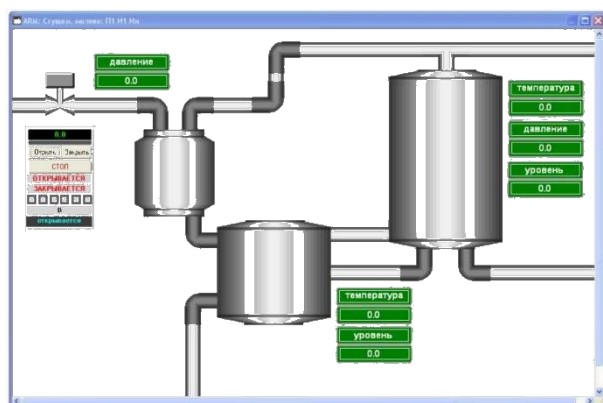


Рисунок 4. Экранная форма «пароотделитель, испаритель, инжектор»

Figure 4. Screen form “steam separator, evaporator, injector”

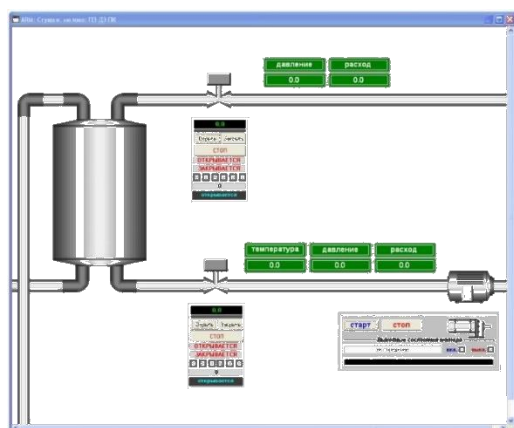


Рисунок 6. Экранная форма «пусковой эжектор, двух-
ступенчатый эжектор, поверхностный конденсатор»

Figure 6. Screen form “start-up ejector, two-stage ejector, surface condenser”

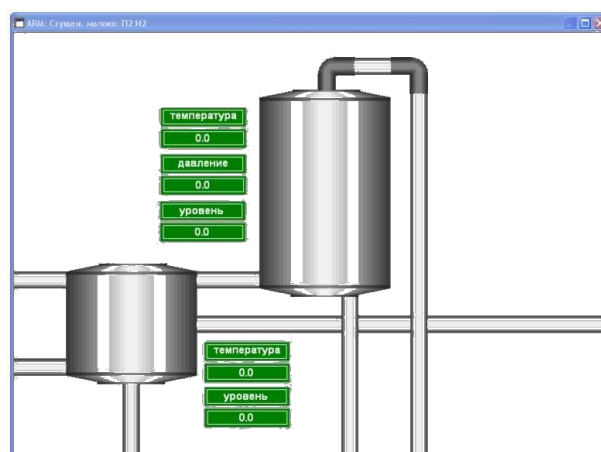


Рисунок 5. Экранная форма «пароотделитель, испаритель»

Figure 5. Screen form “steam separator, evaporator”

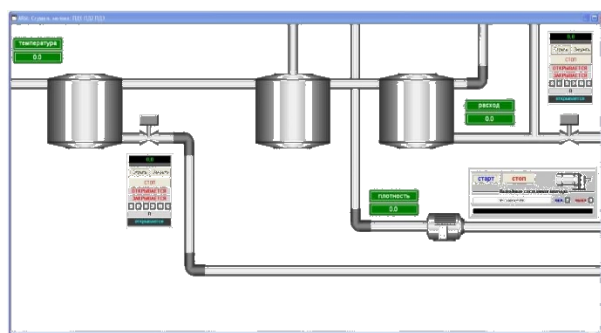


Рисунок 7. Экранная форма «подогреватели первой, второй и третьей ступеней»

Figure 7. Screen form “first, second and third effect heaters”

то необходимо в редакторе базы каналов SCADA – системе ТРЕЙС МОУД 5.0 создать три АРМ большой мощности. Два из них для рабочих мест операторов и один резервный, используемый в аварийных ситуациях. Для архивирования данных поступающих от контроллеров и с рабочих мест оператора создадим узел глобального регистратора. Для контроллеров нижнего уровня создадим три узла малой мощности.

Все экраны в графических базах ТРЕЙС МОУД собраны в группы. Поэтому в редакторе представления данных реализована группировка экранов. Эту группировку удобно использовать исходя из функционального назначения экранов.

В данной работе, в процессе разработки графической части были сформированы экранные формы для указанных групп. Виды экранных форм представлены на рисунках 4–8.

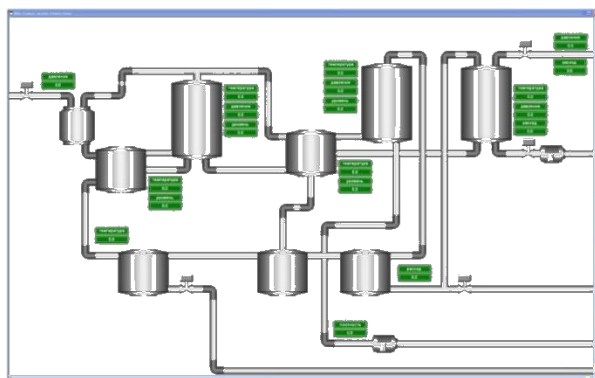


Рисунок 8. Общая экранная форма участка производства сгущенного молока

Figure 8. General screen form of condensed milk production section

Обсуждение

В результате разработки проекта был определен перечень задач, решаемых на диспетчерском уровне, разработан SCADA-проект в среде TRACE MODE, решены задачи разработки программного обеспечения АСУ ТП и представлена программная реализация системы автоматического регулирования.

Заключение

Разработанный проект позволяет усовершенствовать рабочее место оператора вакуум-

выпарной установки, сократить время необходимое на реагирование и принятие решений персоналом. Кроме того, система сигнализации автоматической сигнализации позволяет снизить количество брака продукции, и, соответственно, повысить выпуск и снизить себестоимость продукции на единицу сырья.

Разработанный проект полностью удовлетворяет техническому заданию и внедрен на производство.

Литература

- 1 Русанов В.В., Перов В.И., Самойлов М.А. Автоматизация предприятий общественного питания с использованием современных цифровых технологий: программ Arduino IDE, OPC Modbus и Master Scada // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 2. С. 38–44. doi: 10.20914/2310-1202-2018-2-38-44
- 2 Колесников А.В., Карепанова Д.О. Автоматизация предприятий общественного питания // Современные проблемы экономического развития предприятий, отраслей, комплексов, территорий. 2021. С. 279–283.
- 3 Бородулин Д.М. Разработка математического обеспечения процесса регулирования температуры молока на выходе из секции охлаждения // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 1. С. 24–28. doi: 10.20914/2310-1202-2022-1-24-28
- 4 Гербер Ю.Б., Гаврилов А.В. Обоснование параметров механической обработки молока при производстве кисломолочных продуктов // Техника и технология пищевых производств. 2019. Т. 49. № 3. С. 375–382. doi: 10.21603/2074-9414-2019-3-375-382
- 5 Ивкова И.А., Скрябина О.В., Рябкова Д.С., Динер Ю.А. и др. Разработка технологии и исследования качества молочных консервов для регионов с ограниченными ресурсами натурального молочного сырья // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 3. С. 254–258. doi: 10.20914/2310-1202-2018-3-254-258
- 6 Шемятин А.М., Юркин Д.С. Модернизация технологического оборудования для тепловой обработки при производстве кисломолочных продуктов // Заметки ученого. 2021. № 9–1. С. 311–316.
- 7 Брусиловский Л.П., Вайнберг А.Я., Черняков Ф.С. Системы автоматизированного управления технологическими процессами предприятий молочной промышленности. М.: Агропромиздат, 1986. 232 с.
- 8 Колесников А.В., Карепанова Д.О. Автоматизация предприятий общественного питания // Современные проблемы экономического развития предприятий, отраслей, комплексов, территорий. 2021. С. 279–283.
- 9 Burke N., Zacharis K.A., Southern M., Hogan P. et al. The dairy industry: process, monitoring, standards, and quality // Descriptive food science. 2018. V. 162. doi: 10.5772/intechopen.80398
- 10 Munir M.T., Yu W., Young B.R., Wilson D.I. et al. The current status of process analytical technologies in the dairy industry // Trends in Food Science & Technology. 2015. V. 43. № 2. P. 205-218. doi: 10.1016/j.tifs.2015.02.010
- 11 Gargiulo J.I., Eastwood C.R., Garcia S.C., Lyons N.A. Dairy farmers with larger herd sizes adopt more precision dairy technologies // Journal of dairy science. 2018. V. 101. № 6. P. 5466-5473. doi: 10.3168/jds.2017-13324
- 12 Kondakci T., Zhou W. Recent applications of advanced control techniques in food industry // Food and Bioprocess Technology. 2017. V. 10. P. 522-542. doi: 10.1007/s11947-016-1831-x
- 13 Edwards J.P., Rue B.T.D., Jago J.G. Evaluating rates of technology adoption and milking practices on New Zealand dairy farms // Animal Production Science. 2014. V. 55. № 6. P. 702-709. doi: 10.1071/AN14065
- 14 Dhage B., Dhage A. Automation of CIP Process in dairy industries using programmable controllers and SCADA // 2016 International Conference on Automatic Control and Dynamic Optimization Techniques (ICACDOT). IEEE, 2016. P. 318-323. doi: 10.1109/ICACDOT.2016.7877601
- 15 Jago J., Eastwood C., Kerrisk K., Yule I. Precision dairy farming in Australasia: adoption, risks and opportunities // Animal Production Science. 2013. V. 53. № 9. P. 907-916. doi: 10.1071/AN12330
- 16 Casino F., Kanakaris V., Dasaklis T.K., Moschuris S. et al. Blockchain-based food supply chain traceability: a case study in the dairy sector // International journal of production research. 2021. V. 59. № 19. P. 5758-5770. doi: 10.1080/00207543.2020.1789238
- 17 Tse C., Barkema H.W., DeVries T.J., Rushen J. et al. Impact of automatic milking systems on dairy cattle producers' reports of milking labour management, milk production and milk quality // Animal. 2018. V. 12. P. 2649-2656. doi: 10.1017/S1751731118000654
- 18 Mittal G.S. Process controls in the food industry: Problems and solutions // Computerized Control Systems in the Food Industry. CRC Press, 2018. P. 1-11.

19 Butler D., Holloway L. Technology and restructuring the social field of dairy farming: Hybrid capitals, 'stockmanship' and automatic milking systems // *Sociologia Ruralis*. 2016. V. 56. №. 4. P. 513-530. doi: 10.1111/soru.12103

20 Doupbrate D.I., Hagevoort G.R., Nonnenmann M.W., Lunner Kolstrup C. et al. The dairy industry: a brief description of production practices, trends, and farm characteristics around the world // *Journal of agromedicine*. 2013. V. 18. №. 3. P. 187-197. doi: 10.1080/1059924X.2013.796901

References

- 1 Rusanov V.V., Perov V.I., Samoilov M.A. Automation of public catering establishments using modern digital technologies: Arduino IDE, OPC Modbus and Master Scada programs. *Proceedings of VSUET*. 2018. vol. 80. no. 2. pp. 38-44. doi: 10.20914/2310-1202-2018-2-38-44 (in Russian).
- 2 Kolesnikov A.V., Karepanova D.O. Automation of public catering enterprises. Modern problems of economic development of enterprises, industries, complexes, territories. 2021, pp. 279-283. (in Russian).
- 3 Borodulin D.M. Development of mathematical support for the process of regulating the temperature of milk at the outlet of the cooling section. *Proceedings of VSUET*. 2022. vol. 84. no. 1. pp. 24-28. doi: 10.20914/2310-1202-2022-1-24-28 (in Russian).
- 4 Gerber Yu.B., Gavrilov A.V. Justification of the parameters of mechanical processing of milk in the production of fermented milk products. *Equipment and technology of food production*. 2019. vol. 49. no. 3. pp. 375-382. doi: 10.21603/2074-9414-2019-3-375-382 (in Russian).
- 5 Ivkova I.A., Skryabina O.V., Ryabkova D.S., Diner Yu.A. et al. Development of technology and research of the quality of canned milk for regions with limited resources of natural dairy raw materials. *Proceedings of VSUET*. 2018. vol. 80. no. 3. pp. 254-258. doi: 10.20914/2310-1202-2018-3-254-258 (in Russian).
- 6 Shemyatin A.M., Yurkin D.S. Modernization of technological equipment for heat treatment in the production of fermented milk products. *Notes of a scientist*. 2021. no. 9-1. pp. 311-316. (in Russian).
- 7 Brusilovsky L.P., Weinberg A.Ya., Chernyakov F.S. Automated control systems for technological processes of dairy industry enterprises. M., Agropromizdat, 1986. 232 p. (in Russian).
- 8 Kolesnikov A.V., Karepanova D.O. Automation of public catering enterprises. Modern problems of economic development of enterprises, industries, complexes, territories. 2021. pp. 279-283. (in Russian).
- 9 Burke N., Zacharski K.A., Southern M., Hogan P. et al. The dairy industry: process, monitoring, standards, and quality. *Descriptive food science*. 2018. vol. 162. doi: 10.5772/intechopen.80398
- 10 Munir M.T., Yu W., Young B.R., Wilson D.I. et al. The current status of process analytical technologies in the dairy industry. *Trends in Food Science & Technology*. 2015. vol. 43. no. 2. pp. 205-218. doi: 10.1016/j.tifs.2015.02.010
- 11 Gargiulo J.I., Eastwood C.R., Garcia S.C., Lyons N.A. Dairy farmers with larger herd sizes adopt more precision dairy technologies. *Journal of dairy science*. 2018. vol. 101. no. 6. pp. 5466-5473. doi: 10.3168/jds.2017-13324
- 12 Kondakci T., Zhou W. Recent applications of advanced control techniques in food industry. *Food and Bioprocess Technology*. 2017. vol. 10. pp. 522-542. doi: 10.1007/s11947-016-1831-x
- 13 Edwards J.P., Rue B.T.D., Jago J.G. Evaluating rates of technology adoption and milking practices on New Zealand dairy farms. *Animal Production Science*. 2014. vol. 55. no. 6. pp. 702-709. doi: 10.1071/AN14065
- 14 Dhage B., Dhage A. Automation of CIP Process in dairy industries using programmable controllers and SCADA. 2016 International Conference on Automatic Control and Dynamic Optimization Techniques (ICACDOT). IEEE, 2016. pp. 318-323. doi: 10.1109/ICACDOT.2016.7877601
- 15 Jago J., Eastwood C., Kerrisk K., Yule I. Precision dairy farming in Australasia: adoption, risks and opportunities. *Animal Production Science*. 2013. vol. 53. no. 9. pp. 907-916. doi: 10.1071/AN12330
- 16 Casino F., Kanakaris V., Dasaklis T.K., Moschuris S. et al. Blockchain-based food supply chain traceability: a case study in the dairy sector. *International journal of production research*. 2021. vol. 59. no. 19. pp. 5758-5770. doi: 10.1080/00207543.2020.1789238
- 17 Tse C., Barkema H.W., DeVries T.J., Rushen J. et al. Impact of automatic milking systems on dairy cattle producers' reports of milking labour management, milk production and milk quality. *Animal*. 2018. vol. 12. no. 12. pp. 2649-2656. doi: 10.1017/S1751731118000654
- 18 Mittal G.S. Process controls in the food industry: Problems and solutions. *Computerized Control Systems in the Food Industry*. CRC Press, 2018. pp. 1-11.
- 19 Butler D., Holloway L. Technology and restructuring the social field of dairy farming: Hybrid capitals, 'stockmanship' and automatic milking systems. *Sociologia Ruralis*. 2016. vol. 56. no. 4. pp. 513-530. doi: 10.1111/soru.12103
- 20 Doupbrate D.I., Hagevoort G.R., Nonnenmann M.W., Lunner Kolstrup C. et al. The dairy industry: a brief description of production practices, trends, and farm characteristics around the world. *Journal of agromedicine*. 2013. vol. 18. no. 3. pp. 187-197. doi: 10.1080/1059924X.2013.796901

Сведения об авторах

Дмитрий М. Бородулин д.т.н., профессор, директор технологического института, профессор кафедры технологии хранения и переработки плодовоовощной и растениеводческой продукции, ФГБОУ ВО «Российский 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>

Вклад авторов

Дмитрий М. Бородулин обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провел эксперимент, выполнил расчёты

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Dmitriy M. Borodulin Dr. Sci. (Engin.), professor, director of the technological institute, professor of the department of technology of storage and processing of fruits, vegetables and plant growing products, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, st. Timiryazevskaya, 49, Moscow, 127434, Russia, borodulin@rgau-msha.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-3035-0354>

Contribution

Dmitriy M. Borodulin review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 19/04/2023	После редакции 12/05/2023	Принята в печать 02/06/2023
Received 19/04/2023	Accepted in revised 12/05/2023	Accepted 02/06/2023

Перспективы методов вычислительной гидродинамики при исследовании мембранных процессов

Андрей И. Ключников	¹	kaivanov@mail.ru	 0000-0002-5306-0328
Виталий Ю. Овсянников	¹	ows2003@mail.ru	 0000-0001-9388-6303
Дина В. Ключникова	¹	dina.key@mail.ru	
Артем М. Давыдов	²	davydov.am@rea.ru	 0000-0001-5308-4752

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

² Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, пер. Стремянный, 36, г. Москва, 117997, Россия

Аннотация. При математическом моделировании мембранных процессов изучение структурных особенностей используемых мембран и существенная ограниченность информации при формальном описании их разделительных свойств привели к разработке физических моделей, учитывающих не только особенности строения реальных мембран, но и их особенностей функционирования. При составлении физических моделей мембранных процессов, невозможно объективно провести количественный учет большинства факторов из-за их большого многообразия и изменчивости, что далеко отдалает математическую модель от реального процесса. Именно поэтому методы вычислительной гидродинамики надежно и эффективно выполняют расчеты для всех физических моделей и типов, включая стационарное или переходное течение, несжимаемое или сжимаемое течение (от малых дозвуковых до гиперзвуковых), моделирование ламинарных или турбулентных потоков, ньютоновских или неьютоновских жидкостей, идеального или реального газа. Авторами проведен анализ возможности использования вычислительной гидродинамики CFD для расчета гидродинамики потоков в мембранном биореакторе на основе полых волокон. Сафаровым Р.Р. и др. была построена электронная геометрическая модель установки, осуществлен выбор геометрии сетки с различной плотностью для оптимизации времени расчетов и точности решения для конкретного случая, рассчитана кинетическая зависимость роста клеток, определены расходы подачи питательной среды во внутриволоконное и межволоконное пространства биореактора, проанализированы гидродинамические условия. Все вышесказанное подтверждает перспективы использования CFD методов для моделирования мембранных процессов, осложненных культивированием клеток на поверхности мембран.

Ключевые слова: математическое моделирование, вычислительная гидродинамика, мембранный модуль, мембранный биореактор, концентрационная поляризация, культивирование.

Perspectives of computational fluid dynamics methods in the study of membrane processes

Andrey I. Klyuchnikov	¹	kaivanov@mail.ru	 0000-0002-5306-0328
Vitaly Yu. Ovsyannikov	¹	ows2003@mail.ru	 0000-0001-9388-6303
Dina V. Klyuchnikova	¹	dina.key@mail.ru	
Artem M. Davydov	²	davydov.am@rea.ru	 0000-0001-5308-4752

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

² Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane, 36, 117997, Russia

Abstract. In the mathematical modeling of membrane processes, the study of the structural features of the membranes used and the significant limitation of information in the formal description of their separation properties led to the development of physical models that take into account not only the structural features of real membranes, but also their functioning features. When compiling physical models of membrane processes, it is impossible to objectively carry out a quantitative accounting of most factors due to their great diversity and variability, which distances the mathematical model far from the real process. This is why CFD methods reliably and efficiently perform calculations for all physical models and types, including steady or transient flow, incompressible or compressible flow (from small subsonic to hypersonic), laminar or turbulent flow simulations, Newtonian or non-Newtonian fluids, ideal or real gas. The authors analyzed the possibility of using CFD to calculate the hydrodynamics of flows in a membrane bioreactor based on hollow fibers. Safarov R.R. etc., an electronic geometric model of the installation was built, mesh geometry with different densities was selected to optimize the calculation time and solution accuracy for a specific case, the kinetic dependence of cell growth was calculated, the flow rates of the nutrient medium into the intrafiber and interfiber spaces of the bioreactor were determined, and the hydrodynamic conditions were analyzed. All of the above confirms the prospects for using CFD methods for modeling membrane processes complicated by culturing cells on the surface of membranes.

Keywords: mathematical modeling, computational fluid dynamics, membrane module, membrane bioreactor, concentration polarization, cultivation.

Для цитирования

Ключников А.И., Овсянников В.Ю., Ключникова Д.В., Давыдов А.М. Перспективы методов вычислительной гидродинамики при исследовании мембранных процессов // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 2. С. 38–44. doi:10.20914/2310-1202-2023-2-38-44

For citation

Klyuchnikov A.I., Ovsyannikov V.Yu., Klyuchnikova D.V., Davydov A.M. Perspectives of computational fluid dynamics methods in the study of membrane processes. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 2. pp. 38–44. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-2-38-44

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

Введение

При математическом моделировании мембранных процессов изучение структурных особенностей используемых мембран и существенная ограниченность информации при формальном описании их разделительных свойств привели к разработке физических моделей, учитывающих не только особенности строений реальных мембран, но и их особенностей функционирования.

Любая физическая модель мембранного процесса, ввиду его сложности, не отражает всех сторон явления (вследствие хотя бы чрезмерной громоздкости конечных аналитических выражений). Также, модель проверяют на реальных физико-химических объектах (мембрана и культуральная жидкость), возмущаемых налагаемой разностью химического потенциала (градиент давления и концентрации по обе стороны мембраны), т. е. система принципиально неравновесна и, в лучшем случае, стационарна.

Особенности реализации физических моделей на конкретных технологических жидкостях весьма разнообразны, что часто приводит к достаточно неожиданным результатам и, поэтому, они находятся в центре внимания многих исследователей.

При составлении физических моделей мембранных процессов, невозможно объективно провести количественный учет большинства факторов из-за их большого многообразия и изменчивости, что далеко отдаляет математическую модель от реального процесса.

Именно поэтому методы вычислительной гидродинамики надежно и эффективно выполняют расчеты для всех физических моделей и типов, включая стационарное или переходное течение, несжимаемое или сжимаемое течение (от малых дозвуковых до гиперзвуковых), моделирование ламинарных или турбулентных потоков, ньютоновских или неньютоновских жидкостей, идеального или реального газа.

На данный момент в мире существует ряд универсальных коммерческих программных продуктов для решения задач вычислительной гидродинамики. Среди ведущих зарубежных коммерческих пакетов можно выделить такие, как «ANSYS FLUENT» и «ANSYS CFX» корпорации ANSYS Inc, «STAR-CD/STAR-CCM+» компании CD-adapco Group, позволяющие проводить моделирование широкого класса физических процессов в научных и инженерных областях. Существуют и отечественные универсальные коммерческие пакеты: Flow Vision компании ТЕСИС, Gas Dynamics Tool компании GDT Software Group.

В основе данных методов находится комплекс программ, подходящих для проектирования, расчетов и решения проблем, связанных с описанием потоков жидкости внутри мембранного модуля.

Для полноценного изучения сложных физических явлений, в особенности одновременного протекания мембранного и биотехнологического процессов, необходимо проведение на практике большого количества дорогостоящих экспериментов, чего можно избежать благодаря моделированию с помощью методов CFD [1–6].

Известно, что образование на поверхности мембран гелевого слоя, в котором концентрация растворенного вещества больше, чем в основном объеме раствора, носит название концентрационной поляризации. Отрицательное воздействие данного трудно изучаемого явления на мембранные процессы разделения и концентрирования вызвано следующими аспектами:

- уменьшается перепад давлений над и под мембраной, т. к. растет осмотическое давление исходной жидкости, сопровождающееся уменьшением удельной проницаемости и избирательной задерживающей способностью мембран;
- сокращается эксплуатационный период использования мембран, определяющий, в конечном итоге, стоимость мембранного процесса.

Для оценки уровня концентрационной поляризации на поверхности мембран, выяснения характера и механизма гелеобразования также могут быть использованы методы CFD [7]. Кроме того, можно посчитать крутящие моменты, силу механического сдвига и влияние вязкости жидкости на гидродинамику потоков через мембрану. Например, в работе [8] с помощью методов CFD изучен эффект влияния геометрической формы микропор мембран на гидродинамику потоков культуральной жидкости. В работе [9] методами CFD авторы исследуют области мембраны, которые наиболее склонны к гелеобразованию. В исследовании [10] авторы на основании полученной CFD-картины процессов и явлений прогнозируют механизм оседания частиц на мембранную поверхность мембраны.

Таким образом, CFD-моделирование является одним из перспективных инструментов исследования и оптимизации мембранных процессов, протекающих с участием жидких и газовых потоков в пищевом, химическом и биотехнологическом производствах [11].

Следует отметить, что, несмотря на очевидные преимущества CFD-программного комплекса, все же не стоит пренебрегать экспериментальной проверкой результатов моделирования для более точной оценки адекватности математической модели.

Методы

Рассмотрим основные принципы, заложенные в математическое моделирование с помощью методов CFD.

Решатель «ANSYS FLUENT» основан на методе конечных объемов, при этом: область течения разделяется на конечное множество контрольных объемов; в этом множестве контрольных объемов решаются уравнения сохранения массы, импульса, энергии и т. д.; уравнения в частных производных дискретизируются в систему алгебраических уравнений; затем производится численное решение этих алгебраических уравнений в расчетной области.

Приведем конкретный пример, основанный на изучении работ [12 – 15].

Уравнения для расчёта гидродинамических условий внутри полых волокон мембранного биореактора. Основные уравнения, используемые для описания потоков, являются уравнение сохранения массы и импульса, которые для нестационарных условий имеют следующий вид:

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \rho \frac{\partial v_x}{\partial x} + \rho \frac{\partial v_y}{\partial y} + \rho \frac{\partial v_z}{\partial z} = -J; \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho v_x}{\partial \tau} + v_x \rho \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \rho \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \rho \frac{\partial v_x}{\partial z} = \\ = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right) + \rho g; \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho v_y}{\partial \tau} + v_x \rho \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \rho \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \rho \frac{\partial v_y}{\partial z} = \\ = -\frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial z^2} \right); \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho v_z}{\partial \tau} + v_x \rho \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \rho \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \rho \frac{\partial v_z}{\partial z} = \\ = -\frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right); \end{aligned} \quad (4)$$

где ρ – плотность культуральной жидкости, кг/м³; v_x, v_y, v_z – скорость культуральной жидкости вдоль осей ОХ, ОУ и ОZ соответственно, м/с; g – ускорение свободного падения м/с²; J – поток культуральной среды, переходящий из внутриволоконного пространства в межволоконное через мембрану, кг/(м×с²); P – давление, Па; μ – динамическая вязкость культуральной среды, Па×с; τ – продолжительность процесса; с; x, y, z – координаты, м.

В правой части уравнений (1)–(4) находятся параметры, описывающие изменение импульса за счёт градиента давления и за счёт сил вязкостного трения. Третий параметр в уравнении (2) описывает изменение импульса за счёт силы тяжести.

Поток культуральной жидкости, прошедший через мембрану, описывается уравнением Хагена-Пуазейля следующего вида:

$$J = \begin{cases} \frac{\varepsilon r_n^2 S \rho \Delta P}{8 \mu \delta T}; \\ 0, \text{ при } x^1 x_{m1}, y^1 y_{m1}, z^1 z_{m1}. \end{cases} \quad (5)$$

где ε – количество пор на единицу поверхности мембраны, 1/м²; r_n – средний радиус пор, м; S – площадь поверхности мембраны, м²; δ – показатель кривизны пор; T – толщина мембраны, м.

Начальные и граничные условия для внутриволоконного пространства мембранного биореактора имеют вид:

$$\vec{v}(x_{cm}, y_{cm}, z_{cm}) = 0; \quad (6)$$

$$\vec{v}(x_{ex}, y_{ex}, z_{ex}) = \vec{v}_{ex}; \quad (7)$$

$$P(x_{ex}, y_{ex}, z_{ex}) = P_{ex}; \quad (8)$$

$$\vec{v}(t=0) = \vec{v}_{01}; \quad (9)$$

$$\rho(t=0) = \overline{\rho}_{01}. \quad (10)$$

Граничное условие (6) определяет условие прилипания культуральной жидкости к непроницаемым стенкам биореактора, а условие (7) определяет скорость культуральной жидкости на входе во внутриволоконное пространство мембранного биореактора. Условие (8) задает давление культуральной жидкости на входе в мембранный биореактор.

Уравнения для расчета гидродинамических условий в межволоконном пространстве мембранного биореактора. Для межволоконной области основными уравнениями, по аналогии с (1)–(4), также являются уравнения сохранения массы и импульса:

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \rho \frac{\partial v_x}{\partial x} + \rho \frac{\partial v_y}{\partial y} + \rho \frac{\partial v_z}{\partial z} = I + J; \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho v_x}{\partial \tau} + v_x \rho \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \rho \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \rho \frac{\partial v_x}{\partial z} = \\ = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right) + \rho g; \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho v_y}{\partial \tau} + v_x \rho \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \rho \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \rho \frac{\partial v_y}{\partial z} = \\ = -\frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial z^2} \right); \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho v_z}{\partial \tau} + v_x \rho \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \rho \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \rho \frac{\partial v_z}{\partial z} = \\ = -\frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right); \end{aligned} \quad (14)$$

В правой части уравнения (11) находятся слагаемые, описывающие приток массы за счёт потока культуральной жидкости, перетекающей из внутриволоконного пространства в межволоконное, и убыль массы за счёт поглощения клетками питательных веществ, необходимых для их жизнедеятельности. Приток массы, перетекающей из внутриволоконного в межволоконное пространство, описывается выражением (5).

Количество массы, потребляемое клетками, рассчитывается:

$$I = \int_1^N q^c(t) dt \quad (15)$$

где N – число клеток; q^c – скорость потребления питательной среды одной клеткой.

Набор начальных и граничных условий для системы уравнений межволоконного пространства мембранного биореактора имеет следующий вид:

$$\vec{v}(x_{cm}, y_{cm}, z_{cm}) = 0; \quad (16)$$

$$\vec{v}(x_{ex}, y_{ex}, z_{ex}) = \vec{v}_1; \quad (17)$$

$$P(x_{ex}, y_{ex}, z_{ex}) = P_a; \quad (18)$$

$$\vec{v}(t=0) = \vec{v}_{02}; \quad (19)$$

$$\rho(t=0) = \overline{\rho_{02}}. \quad (20)$$

Граничное условие (16) определяет условие прилипания культуральной жидкости к непроницаемым стенкам биореактора, а условие (17) определяет скорость среды на входе в межволоконное пространство биореактора. Выражение (18) задает давление среды на выходе из межволоконного пространства биореактора [12–15].

Результаты

В качестве мембранного биореактора для физического эксперимента авторами [12–15] использовался модуль на основе полых волокон C2008 FiberCell System. Технические характеристики биореактора указаны в таблице 1.

Таблица 1.

Техническая характеристика мембранного биореактора C2008 FiberCell System [12–14]

Table 1.

Technical characteristics of the membrane bioreactor C2008 FiberCell System [12–14]

Наименование параметра	Показатель
Количество полых волокон	60
Диаметр полого волокна, мкм	700
Диаметр полого волокна, мкм	1300
Толщина полого волокна, мкм	300
Длина полого волокна, мм	110
Диаметр корпуса, мм	220
Длина мембранного модуля, мм	130

Мембранный биореактор C2008 FiberCell System представлял собой картридж (рисунок 1), заполненный полыми волокнами. Волокна имели различные диаметры пор для диффузии молекул с молекулярной массой 5 кДа, 20 кДа и более. Культуральная среда прокачивалась через полые волокна и обеспечивала рост клеток в ограниченном пространстве на их поверхности. Полые волокна создавали полупроницаемый барьер с заданными свойствами между пространством, где культивировались клетки, и протекающей средой. В процессе секретирования продукты концентрировались в малых объемах межволоконного пространства, где их концентрация могла достигать значений в 100 раз больших, чем при проведении аналогичного процесса в колбах или в роллерных бутылках.



Рисунок 1. Мембранный биореактор C2008 FiberCell System
Figure 1. Membrane bioreactor Since 2008 FiberCell System.

Обсуждение

Авторами [12–14] было проведено CFD-моделирование гидродинамических условий в мембранном биореакторе на основе полых волокон при полном их заполнении клетками и с учетом рассчитанной величины коэффициента проницаемости мембраны.

На основании предложенного автором [12] ранее прямоточного режима подачи питательной среды в межволоконное пространство относительно внутриволоконного, входными являются патрубки 1 и 2 (рисунок 2), выходными 3 и 4. Красным цветом указаны потоки питательной среды во внутриволоконном пространстве, синим цветом – потоки в межволоконном пространстве.

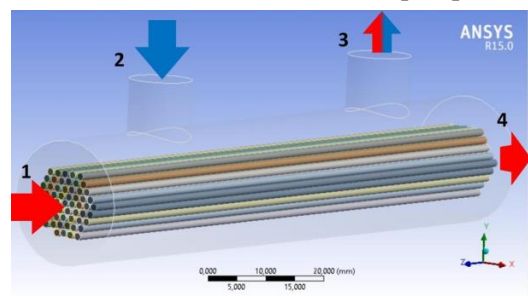


Рисунок 2. Схема движения потоков питательной среды в полуволоконном мембранном биореакторе (по данным Сафарова Р. Р.) [12]

Figure 2. Scheme of the movement of nutrient medium flows in a hollow-fiber membrane bioreactor (according to R. R. Safarov) [12]

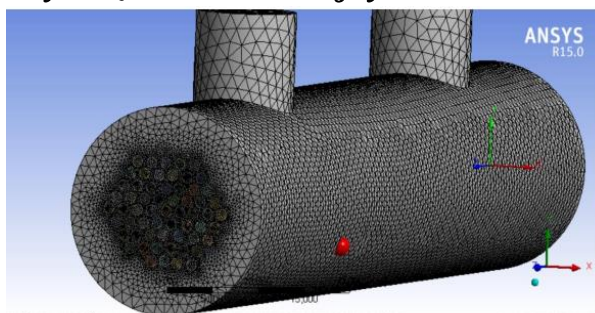


Рисунок 3. Сеточная модель полволоконного мембранного биореактора (по данным Сафарова Р. Р.) [12]

Figure 3. Grid model of a hollow-fiber membrane bioreactor (according to Safarov R. R.) [12]

Расчетная сетка биореактора с 60-ю волокнами содержала 12 млн ячеек с минимальным размером ячейки в зоне повышенной плотности сетки, равным 0,1 мм (рисунок 3).

В результате расчета автором [12] получено скоростное распределение движения потоков в межволоконном пространстве. Для 2-х дней культивирования гидродинамика потоков представлена на рисунке 4, анализируя который можно сделать вывод о равномерном распределении потока в большей части биореактора.

Визуализация гидродинамической картины для последнего этапа культивирования отражена на рисунке 5. В левой части мембранного биореактора, а также в центральной области между боковыми патрубками автором [12] наблюдались области низких скоростей. Однако, рассчитанная минимальная скорость потока в межволоконном пространстве меньше скоростей в рассматриваемых областях, поэтому автором [12] сделан вывод об отсутствии застойных зон на первых этапах культивирования.

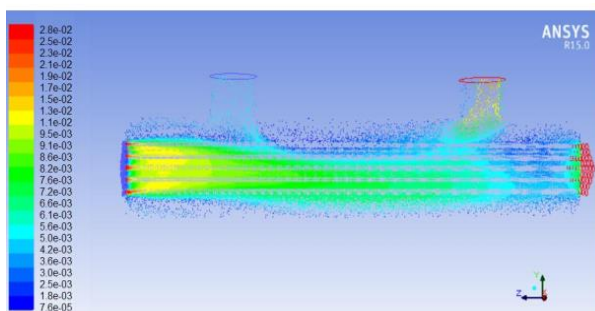


Рисунок 4. Схема распределения скоростей потоков в межволоконном пространстве полволоконного мембранного биореактора для 2-х дней культивирования (течение среды – слева направо (по данным Сафарова Р. Р.) [12])

Figure 4. Scheme of the distribution of flow rates in the interfiber space of a hollow fiber membrane bioreactor for 2 days of cultivation (the flow of the medium is from left to right (according to Safarov R. R.) [12])

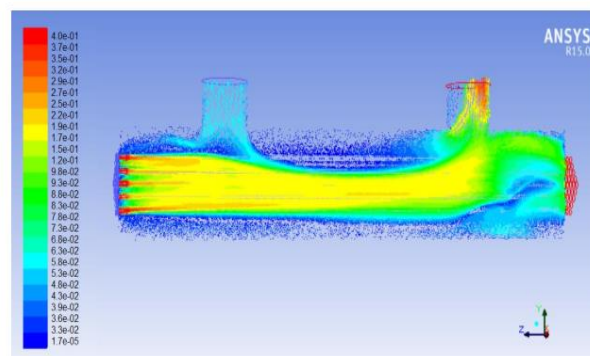


Рисунок 5. Схема распределения скоростей потоков в межволоконном пространстве полволоконного мембранного биореактора на 8-ой день культивирования направо (по данным Сафарова Р. Р.) [12]

Figure 5. Scheme of the distribution of flow rates in the interfiber space of the hollow fiber membrane bioreactor on the 8th day of cultivation to the right (according to Safarov R. R.) [12]

Автором [12] отмечены области, в которых скорость имела максимальное значение (рисунок 5). Данные области относились к зоне входа питательной среды во внутриволоконное пространство биореактора, а также к зоне выхода питательной среды из межволоконного пространства (патрубок 3, рисунок 2). По мнению Сафарова Р.Р., данные зоны не содержали поверхности с прикрепленными клетками, поэтому рассматриваемые скоростные пики не оказывали пагубного влияния на процесс [12–15].

Заключение

В рассмотренном выше примере, авторами [12–15] проведен наглядный анализ возможности использования вычислительной гидродинамики CFD для расчета гидродинамики потоков в мембранном биореакторе на основе полых волокон. Авторами [12–20], в частности, Сафаровым Р.Р. была построена электронная геометрическая модель установки, осуществлен выбор геометрии сетки с различной плотностью для оптимизации времени расчетов и точности решения для конкретного случая, рассчитана кинетическая зависимость роста клеток, определены расходы подачи питательной среды во внутриволоконное и межволоконное пространство биореактора, проанализированы гидродинамические условия.

Все вышесказанное подтверждает перспективы использования CFD-методов для моделирования мембранных процессов, осложненных культивированием клеток на поверхности мембран.

Литература

- 1 Dash S., Mohanty S. Separation of lanthanum and neodymium in a hollow fiber supported liquid membrane: CFD modelling and experimental validation // *Minerals Engineering*. 2022. V. 180. doi: 10.1016 / j.mineng. 2022.107472
- 2 Wang H., Wu J., Fu P., Qu Z. et al. CFD-DEM Study of Bridging Mechanism of Particles in Ceramic Membrane Pores under Surface Filtration Conditions // *Processes Open Access*. 2022. V. 10. № 3. doi: 10.3390/pr 10030475
- 3 Gu B., Adjiman C.S., Xu X.Y. Correlations for concentration polarization and pressure drop in spacer-filled RO membrane modules based on CFD simulations // *Membranes Open Access*. 2021. V. 11. № 5. doi: 10.3390/membranes 11050338
- 4 Al-Abbasi O., Bin Shams M. Dynamic CFD modelling of an industrial-scale dead-end ultrafiltration system: Full cycle and complete blockage // *Journal of Water Process Engineering*. 2021. V. 40. doi: 10.1016/j.jwpe.2020.101887
- 5 Zoubek M., Salama A., Henni A. A novel antifouling technique for the crossflow filtration using porous membranes: Experimental and CFD investigations of the periodic feed pressure technique // *Water Research*. 2018. V. 146. P. 159–1761. doi: 10.1016/j.watres.2018.09.027
- 6 Banik A., Bandyopadhyay T.K., Biswal S.K. Computational fluid dynamics (CFD) simulation of cross-flow mode operation of membrane for downstream processing // *Recent Patents on Biotechnology*. 2019. V. 13. № 1. doi: 10.2174 / 1872208312666180924160017
- 7 Yang X., Wang S., Hu B., Zhang K. et al. Estimation of concentration polarization in a fluidized bed reactor with Pd-based membranes via CFD approach // *Journal of Membrane Science*. 2019. V. 581. P. 262–269. doi: 10.1016 / j.memsci.2019.03.068
- 8 Wang Y., Brannock M., Cox S. CFD simulation of membrane filtration zone in a submerged hollow fiber membrane bioreactor using a porous media approach // *Journal of membrane science*. 2010. V. 363. P. 57–66.
- 9 Madaeni S.S., Rahimi M., Abolhasani M. Investigation of cake deposition on various parts of the surface of microfiltration membrane due to fouling // *Korean J Chem Eng*. 2010. V. 27. P. 206–213.
- 10 Rahimi M., Madaenia S.S., Abolhasania M. CFD and experimental studies of fouling of a microfiltration membrane // *Chem Eng Process*. 2009. V. 48. P. 1405–1413.
- 11 Платонов Д.В., Минаков А.В., Дектерев А.А., Харламов Е.Б. и др. Сравнительный анализ CFD-пакетов SIGMAFLOW и ANSYS FLUENT на примере решения ламинарных тестовых задач // *Вестник Томского государственного университета*. 2013. № 1(21). С. 84–94.
- 12 Гусева Е.В., Сафаров Р.Р., Меньшутина Н.В., Будран Ж. Подход к моделированию, масштабированию и оптимизации работы биореакторов на основании вычислительной гидродинамики // *Программные продукты и системы*. 2015. № 4 (112). С. 249–255.
- 13 Гусева Е.В., Сафаров Р.Р., Меньшутина Н.В. Подход к моделированию, масштабированию и оптимизации работы биореакторов на основании вычислительной гидродинамики // *Программные продукты и системы*. 2015. № 4 (112). С. 261–267.
- 14 Guseva E., Menshutina N., Safarov R. Application of CFD to model batch and membrane bioreactors // 21st International Congress of Chemical and Process Engineering, CHISA 2014 and 17th Conference on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction, PRES 2014. 2014. P. 1825–1827.
- 15 Guseva E., Safarov R., Menshutina N. Modelling of hollow-fiber membrane bioreactor by CFD // *Proceeding of 10 th European Congress of Chemical Engineering, 3 rd European Congress of Applied Biotechnology, 5 th European Process Intensification Conference*. Nice, 2015. P. 1225.
- 16 Shirazi M.M.A., Kargari A., Ismail A.F., Matsuura T. Computational Fluid Dynamic (CFD) opportunities applied to the membrane distillation process: State-of-the-art and perspectives // *Desalination*. 2016. V. 377. P. 73–90. doi: 10.1016/j.desal.2015.09.010
- 17 Jurtz N., Kraume M., Wehinger G.D. Advances in fixed-bed reactor modeling using particle-resolved computational fluid dynamics (CFD) // *Reviews in Chemical Engineering*. 2019. V. 35. № 2. P. 139–190. doi: 10.1515/revce-2017-0059
- 18 Goh K., Karahan H.E., Wei L., Bae T.H. et al. Carbon nanomaterials for advancing separation membranes: A strategic perspective // *Carbon*. 2016. V. 109. P. 694–710. doi: 10.1016/j.carbon.2016.08.077
- 19 Drioli E., Ali A., Macedonio F. Membrane distillation: Recent developments and perspectives // *Desalination*. 2015. V. 356. P. 56–84. doi: 10.1016/j.desal.2014.10.028
- 20 González D., Amigo J., Suárez F. Membrane distillation: Perspectives for sustainable and improved desalination // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. V. 80. P. 238–259. doi: 10.1016/j.rser.2017.05.078

References

- 1 Dash S., Mohanty S. Separation of lanthanum and neodymium in a hollow fiber supported liquid membrane: CFD modelling and experimental validation. *Minerals Engineering*. 2022. vol. 180. doi: 10.1016 / j.mineng. 2022.107472
- 2 Wang H., Wu J., Fu P., Qu Z. et al. CFD-DEM Study of Bridging Mechanism of Particles in Ceramic Membrane Pores under Surface Filtration Conditions. *Processes Open Access*. 2022. vol. 10. no. 3. doi: 10.3390/pr 10030475
- 3 Gu B., Adjiman C.S., Xu X.Y. Correlations for concentration polarization and pressure drop in spacer-filled RO membrane modules based on CFD simulations. *Membranes Open Access*. 2021. vol. 11. no. 5. doi: 10.3390/membranes 11050338
- 4 Al-Abbasi O., Bin Shams M. Dynamic CFD modelling of an industrial-scale dead-end ultrafiltration system: Full cycle and complete blockage. *Journal of Water Process Engineering*. 2021. vol. 40. doi: 10.1016/j.jwpe.2020.101887
- 5 Zoubek M., Salama A., Henni A. A novel antifouling technique for the crossflow filtration using porous membranes: Experimental and CFD investigations of the periodic feed pressure technique. *Water Research*. 2018. vol. 146. pp. 159–1761. doi: 10.1016/j.watres.2018.09.027
- 6 Banik A., Bandyopadhyay T.K., Biswal S.K. Computational fluid dynamics (CFD) simulation of cross-flow mode operation of membrane for downstream processing. *Recent Patents on Biotechnology*. 2019. vol. 13. no. 1. doi: 10.2174 / 1872208312666180924160017
- 7 Yang X., Wang S., Hu B., Zhang K. et al. Estimation of concentration polarization in a fluidized bed reactor with Pd-based membranes via CFD approach. *Journal of Membrane Science*. 2019. vol. 581. pp. 262–269. doi: 10.1016 / j.memsci.2019.03.068

- 8 Wang Y., Brannock M., Cox S. CFD simulation of membrane filtration zone in a submerged hollow fiber membrane bioreactor using a porous media approach. *Jornal of membrane science*. 2010. vol. 363. pp. 57–66.
- 9 Madaeni S.S., Rahimi M., Abolhasani M. Investigation of cake deposition on various parts of the surface of microfiltration membrane due to fouling. *Korean J Chem Eng*. 2010. vol. 27. pp. 206–213.
- 10 Rahimi M., Madaenia S.S., Abolhasania M. CFD and experimental studies of fouling of a microfiltration membrane. *Chem Eng Process*. 2009. vol. 48. pp. 1405–1413.
- 11 Platonov D.V., Minakov A.V., Dekterev A.A., Kharlamov E.B. et al. Comparative analysis of CFD packages SIGMAFLOW and ANSYS FLUENT using the example of solving laminar test problems. *Bulletin of Tomsk State University*. 2013. no. 1(21). pp. 84–94. (in Russian).
- 12 Guseva E.V., Safarov R.R., Menshutina N.V., Budran Zh. An approach to modeling, scaling and optimizing the operation of bioreactors based on computational fluid dynamics. *Software products and systems*. 2015. no. 4 (112). pp. 249-255. (in Russian).
- 13 Guseva E.V., Safarov R.R., Menshutina N.V. An approach to modeling, scaling and optimizing the operation of bioreactors based on computational fluid dynamics. *Software products and systems*. 2015. no. 4 (112). pp. 261–267. (in Russian).
- 14 Guseva E., Menshutina N., Safarov R. Application of CFD to model batch and membrane bioreactors. 21st International Congress of Chemical and Process Engineering, CHISA 2014 and 17th Conference on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction, PRES 2014. 2014. pp. 1825-1827.
- 15 Guseva E., Safarov R., Menshutina N. Modelling of hollow-fiber membrane bioreactor by CFD. *Proceeding of 10 th European Congress of Chemical Engineering, 3 rd European Congress of Applied Biorechnology, 5 th European Process Intensification Conference*. Nice, 2015. pp. 1225.
- 16 Shirazi M.M.A., Kargari A., Ismail A.F., Matsuura T. Computational Fluid Dynamic (CFD) opportunities applied to the membrane distillation process: State-of-the-art and perspectives. *Desalination*. 2016. vol. 377. pp. 73-90. doi: 10.1016/j.desal.2015.09.010
- 17 Jurtz N., Kraume M., Wehinger G.D. Advances in fixed-bed reactor modeling using particle-resolved computational fluid dynamics (CFD). *Reviews in Chemical Engineering*. 2019. vol. 35. no. 2. pp. 139-190. doi: 10.1515/revce-2017-0059
- 18 Goh K., Karahan H.E., Wei L., Bae T.H. et al. Carbon nanomaterials for advancing separation membranes: A strategic perspective. *Carbon*. 2016. vol. 109. pp. 694-710. doi: 10.1016/j.carbon.2016.08.077
- 19 Drioli E., Ali A., Macedonio F. Membrane distillation: Recent developments and perspectives. *Desalination*. 2015. vol. 356. pp. 56-84. doi: 10.1016/j.desal.2014.10.028
- 20 González D., Amigo J., Suárez F. Membrane distillation: Perspectives for sustainable and improved desalination. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. vol. 80. pp. 238-259. doi: 10.1016/j.rser.2017.05.078

Сведения об авторах

Андрей И. Ключников д.т.н., профессор, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kaivanov@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-5306-0328>

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

Дина В. Ключникова к.т.н., доцент, кафедра технологии переработки продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, dina.key@mail.ru

Артём М. Давыдов к.т.н., доцент, кафедра ресторанного бизнеса, Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, пер. Стремянный, 36, г. Москва, 117997, Россия, davydov.am@rea.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-5308-4752>

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Andrey I. Klyuchnikov Dr. Sci. (Engin.), professor, machines and apparatuses of food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kaivanov@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-5306-0328>

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

Dina V. Klyuchnikova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, processing technology of animal products department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, dina.key@mail.ru

Artem M. Davydov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, restaurant business department, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane, 36, 117997, Moscow, Russia, davydov.am@rea.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-5308-4752>

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 19/04/2022	После редакции 12/05/2022	Принята в печать 01/06/2022
Received 19/04/2022	Accepted in revised 12/05/2022	Accepted 01/06/2022

Определение высоты установки решетки мясорубки с вертикальным расположением шнека над верхним краем тары

Андрей В. Богданов¹ bav-64@mail.ru  0000-0002-8325-1598
Кристина Е. Василенко¹ krisv95@mail.ru

¹ Южно-Уральский государственный аграрный университет, пр. Ленина, 75, г. Челябинск, 454080, Россия

Аннотация. Переработка сельскохозяйственной продукции играет важную роль в обеспечении продовольствием населения нашей страны. Поэтому повышение производительности при переработке сырья является актуальной задачей, в том числе и при производстве мясных продуктов. Так, при производстве мясного фарша сменная производительность может снижаться из-за потерь времени на санитарно-гигиеническую обработку помещений и оборудования, которая предусмотрена нормативными документами. При производстве фарша мясной сок может разбрызгиваться на окружающие предметы и стены помещения, что усугубляет их санитарно-гигиеническую обработку. Исключить разбрызгивание мясного сока можно путем совершенствования применяемого оборудования для производства фарша. Для уменьшения разбрызгивания мясного сока при производстве фарша в статье предлагается мясорубка с вертикальным расположением шнека, на которую получен патент на полезную модель. Вертикальный выход фарша позволяет ограничить разбрызгивание в пределах тары для готового продукта. При этом расстояние между решеткой мясорубки и тарой для готового продукта должно быть максимальным, но таким, чтобы практически полностью исключить попадание брызг мясного сока за пределы тары. Для определения этого расстояния (высоты установки мясорубки над тарой) предложены соответствующие теоретические предпосылки на основе разработанной расчетной схемы и известного математического аппарата. Получены формулы для определения максимального расстояния от прижимной гайки мясорубки до верхнего края тары, исключающее попадание брызг мясного сока за пределы тары. Максимальное расстояние зависит от геометрических размеров решетки мясорубки и тары для готового продукта. Также выведена зависимость для определения минимального диаметра тары для фарша, при котором исключается разбрызгивание сырья за ее пределы. В целом предложенная конструкция мясорубки и обоснование ее параметров позволит существенно снизить разбрызгивание мясного сока на окружающие предметы. Это позволит сократить время на санитарно-гигиеническую обработку и, тем самым, повысить сменную производительность при производстве фарша.

Ключевые слова: санитарно-гигиенические требования, мясорубка, мясное сырье, переработка сельскохозяйственной продукции, фарш.

Determination of the installation height of the meat grinder grate with a vertical screw arrangement above the upper edge of the container

Andrey V. Bogdanov¹ bav-64@mail.ru  0000-0002-8325-1598
Kristina E. Vasilenko¹ krisv95@mail.ru

¹ South Ural State Agrarian University, 75 Lenin Ave., Chelyabinsk, 454080, Russia

Abstract. Processing of agricultural products plays an important role in providing food to the population of our country. Therefore, increasing productivity in the processing of raw materials is an urgent task, including in the production of meat products. Thus, in the production of minced meat, the replaceable productivity may decrease due to the loss of time for sanitary and hygienic treatment of premises and equipment, which is provided for by regulatory documents. During the production of minced meat, meat juice can be sprayed on the surrounding objects and walls of the room, which aggravates their sanitary and hygienic treatment. It is possible to eliminate the spraying of meat juice by improving the equipment used for the production of minced meat. To reduce the splashing of meat juice in the production of minced meat, the article proposes a meat grinder with a vertical screw arrangement, for which a patent for a utility model has been obtained. The vertical output of minced meat allows you to limit the spraying within the container for the finished product. At the same time, the distance between the grate of the meat grinder and the container for the finished product should be maximum, but in such a way as to almost completely exclude the ingress of splashes of meat juice outside the container. To determine this distance (the height of the meat grinder installation above the container), the corresponding theoretical prerequisites are proposed on the basis of the developed calculation scheme and the well-known mathematical apparatus. Formulas have been obtained for determining the maximum distance from the clamping nut of the meat grinder to the upper edge of the container, excluding splashes of meat juice outside the container. The maximum distance depends on the geometric dimensions of the grate of the meat grinder and the container for the finished product. A dependence is also derived to determine the minimum diameter of the minced meat container, which excludes the spraying of raw materials beyond its limits. In general, the proposed design of the meat grinder and the justification of its parameters will significantly reduce the spraying of meat juice on surrounding objects. This will reduce the time for sanitary and hygienic processing and, thereby, increase the shift productivity in the production of minced meat.

Keywords: sanitary and hygienic requirements, meat grinder, meat raw materials, processing of agricultural products, minced meat.

Для цитирования

Богданов А.В., Василенко К.Е. Определение высоты установки решетки мясорубки с вертикальным расположением шнека над верхним краем тары // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 2. С. 45–49. doi:10.20914/2310-1202-2023-2-45-49

For citation

Bogdanov A.V., Vasilenko K.E. Determination of the installation height of the meat grinder grate with a vertical screw arrangement above the upper edge of the container. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 2. pp. 45–49. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-2-45-49

Введение

В нашей стране практически полностью решена проблема обеспечения продовольствием населения. Тем не менее, требуется повышение эффективности производства и переработки сельскохозяйственной продукции на всех стадиях производства. Это относится и к производству мясных продуктов питания.

К одному из основных видов переработки мясного сырья относится производство фарша. Для этого используются различные виды оборудования: куттеры, мясорубки и др. [1, 2]. При изготовлении фарша посредством мясорубки появляются проблемы, связанные с разбрызгиванием мясного сока на пол, стены и окружающие предметы в помещении, где происходит переработка мяса. Это увеличивает время проведения санитарно-гигиенических мероприятий, связанных с обработкой используемого оборудования и помещений.

Для уменьшения разбрызгивания мясного сока при производстве фарша нами предложена мясорубка с вертикальным расположением шнека, на которую получен патент на полезную модель [3]. Внешний вид мясорубки представлен на рисунке 1.

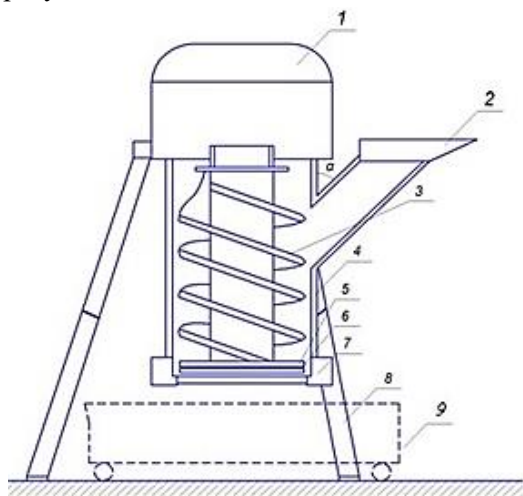


Рисунок 1. Мясорубка с вертикальным расположением шнека 1 – электродвигатель; 2 – загрузочная чаша; 3 – шнек; 4 – корпус; 5 – нож; 6 – решетка; 7 – прижимная гайка; 8 – ножки; 9 – тара для готового продукта (фарша)

Figure 1. Meat grinder with vertical screw arrangement 1 – electric motor; 2 – loading bowl; 3 – auger; 4 – housing; 5 – knife; 6 – grill; 7 – clamping nut; 8 – legs; 9 – container for the finished product (minced meat)

Материалы и методы

Мясорубка включает в себя корпус 4 с тремя ножками 8. Ножки 8 имеют возможность регулировки по высоте и установлены на равноудаленном расстоянии друг от друга. В вертикальной части корпуса 4 располагается шнек 3. На нижнюю часть шнека 3 насажены нож 5

и решетка 6, которые фиксируются гайкой 7. Для загрузки сырья предусмотрена загрузочная часть корпуса, расположенная под углом α , с чашей 2. При этом электродвигатель 1 вращает шнек 3.

Производство фарша происходит следующим образом. На электродвигатель 1 подается напряжение, и он начинает вращать шнек 3. Куски мяса помещаются в чашу 2 мясорубки, затем по наклонной части корпуса 4 перемещаются в его вертикальную часть. Вращающийся в вертикальной части корпуса шнек 3 захватывает мясное сырье и проталкивает его в нижнюю часть корпуса 4, где с помощью ножа 5 и решетки 6 осуществляется измельчение сырья. При измельчении сырья образуются брызги мясного сока. После выхода из решетки 6 мясной фарш попадает в тару для готового продукта 9 (на рисунке 1 обозначена пунктиром).

С одной стороны, расстояние между решеткой мясорубки и тарой должно быть как можно больше, чтобы не мешать выходу фарша из мясорубки и его свободному распространению в объеме тары. С другой стороны, увеличение высоты между решеткой и тарой повышает вероятность разбрызгивания мясного сока. Поэтому, расстояние между решеткой мясорубки и тарой для готового продукта должно быть максимальным, но таким, чтобы практически полностью исключить попадание брызг мясного сока за пределы тары.

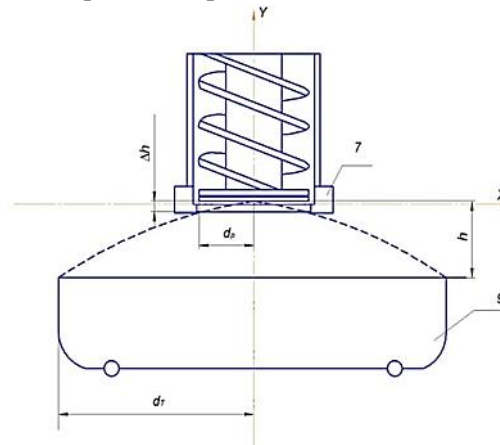


Рисунок 2. Расчетная схема для определения высоты установки решетки мясорубки над тарой для готового продукта h – максимальное расстояние от прижимной гайки до верхнего края тары, исключающее попадание брызг мясного сока за пределы тары, м; Δh – расстояние от решетки до нижней части прижимной гайки, м.; d_r – диаметр тары для фарша, d_p – диаметр решетки мясорубки, 4 – корпус, 9 – тара для готового продукта

Figure 2. Calculation scheme for determining the installation height of the meat grinder grate above the container for the finished product h – the maximum distance from the clamping nut to the upper edge of the container, excluding splashes of meat juice outside the container, m; Δh – the distance from the grate to the bottom of the clamping nut, m.; d_r – diameter of the minced meat container, d_p – is the diameter of the grinder grate, 4 – housing; 9 – container for the finished product (minced meat)

Для нахождения максимальной высоты установки решетки мясорубки над тарой воспользуемся уточненной расчетной схемой в декартовой системе координат (рисунок 2). Предположим, что при производстве фарша капли (брызги) мясного сока, наиболее удаленные от оси Y , разлетаются по траектории, представляющей собой ветви параболы (обозначены пунктирной линией). Тогда можно воспользоваться уравнением параболы [3]. Так как в расчетной схеме вершина параболы находится в центре системы координат, то ее уравнение будет иметь следующий вид:

$$y = -ax^2 \quad (1)$$

где a – коэффициент, определяющий ширину параболы.

В расчетной схеме (рисунок 2) радиус тары можно рассмотреть как координату x , а высоту установки решетки мясорубки над тарой для готового продукта с учетом величины Δh – как координату y :

$$x = r_m, \quad (2)$$

где r_m – радиус тары для готового продукта (фарша), м.

$$y = -(h + \Delta h), \quad (3)$$

где h – максимальное расстояние от прижимной гайки до верхнего края тары, исключающее попадание брызг мясного сока за пределы тары, м; Δh – расстояние от решетки до нижней части прижимной гайки, м.

С учетом формул (2) и (3) выражение (1) после преобразований примет вид:

$$h + \Delta h = ar_m^2, \quad (4)$$

Расстояние от решетки до нижней части прижимной гайки также найдется из расчетной схемы (рисунок 2) на основе уравнения (1):

$$\Delta h = ar_p^2, \quad (5)$$

где r_p – наружный радиус решетки мясорубки (радиус отверстия прижимной гайки), м.

Подставляя величину Δh из формулы (5) в равенство (4), получим:

$$h + ar_p^2 = ar_m^2. \quad (6)$$

Из полученного уравнения (6) можно определить расстояние от прижимной гайки до верхнего края тары:

$$h = ar_m^2 - ar_p^2. \quad (7)$$

С учетом того, что в технических характеристиках мясорубок, как правило, указывается диаметр решетки, а в производственных условиях – диаметр тары, уравнение (7) запишется следующим образом:

$$h = a \left(\frac{d_m}{2} \right)^2 - a \left(\frac{d_p}{2} \right)^2. \quad (8)$$

После преобразований:

$$h = \frac{a}{4} (d_m^2 - d_p^2). \quad (9)$$

Результаты

По формуле (9) можно рассчитать максимальное расстояние от прижимной гайки до верхнего края тары, исключающее попадание брызг мясного сока за пределы тары в зависимости от диаметров тары и решетки, а также коэффициента a . Коэффициент a возможно определить экспериментальным путем. В настоящее время создается лабораторная установка для его нахождения. Из полученного уравнения (9) видно, что увеличение диаметра тары для готового продукта, при прочих равных условиях, позволяет увеличить высоту установки мясорубки над тарой.

Обсуждение

Бывает, что в производственных условиях необходимо решить обратную задачу: зная расстояние от нижней части мясорубки до тары, необходимо подобрать диаметр самой тары, исключающий разбрызгивание мясного сока. При этом диаметр тары найдется из уравнения (9):

$$d_m = \sqrt{\frac{h + \frac{a}{4} d_p^2}{\frac{a}{4}}}. \quad (10)$$

Так как в уравнении (10) величина h является максимальным расстоянием от прижимной гайки до верхнего края тары, исключающее попадание брызг мясного сока за пределы тары, то рассчитанный диаметр тары d_m также будет уменьшать вероятность разбрызгивания за пределы тары. Иными словами, для исключения разбрызгивания мясного сока за пределы тары ее диаметр должен быть не меньше расчетного по формуле (10) диаметра d_m :

$$d \geq d_m, \quad (11)$$

где d – диаметр тары, используемой в производственных условиях, м.

Заключение

Предлагаемая мясорубка с вертикальным расположением шнека и полученные зависимости (9), (10) и (11) позволят снизить вероятность разбрызгивания мясного сока на пол, стены и окружающие предметы в помещении. Это позволит в полной мере обеспечить санитарно-гигиенические требования к помещениям для переработки мяса [5–11] и уменьшить время на санитарную обработку помещений. Снижение времени на санитарную обработку будет способствовать повышению сменной производительности при производстве фарша.

Литература

- 1 Козлова Е.И., Лёвочкина Т.Г., Рамазанцева Д.А. Современное оборудование для мясной промышленности // Экономическая среда. 2017. №. 4. С. 103-109.
- 2 Серёгин С.Н., Корниенко А.В., Фролова Н.А. Проблемы и перспективы производства оборудования для предприятий пищевой и перерабатывающей промышленности России // Пищевая промышленность. 2018. №. 1. С. 8-13.
- 3 Пат. № 212508, RU, B02C 18/30. Мясорубка / Богданов А.В., Василенко К.Е. № 2022104801; Заяв. 22.02.2022; Опубл. 26.07.2022.
- 4 Рудик Ф.Я., Богатырев С.А., Скрябина Л.Ю., Лялякин В.П. Целесообразность восстановления и пути повышения ресурса режущего инструмента промышленных мясорубок // Труды ГОСНИТИ. 2014. Т. 115. С. 128-133.
- 5 Федоренко Т.В. Методы санитарно-микробиологического исследования пищевых продуктов // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития. 2020. С. 157-157.
- 6 ТР ТС 021/2011. О безопасности пищевой продукции (с изменениями на 25 ноября 2022 года).
- 7 ТР ТС 034/2013. О безопасности мяса и мясной продукции.
- 8 Попов А.В., Стаценко Е.Н. Санитарно-гигиенические процедуры на предприятии мясной промышленности // Биоразнообразие, биоресурсы, вопросы биотехнологии и здоровье населения Северо-Кавказского региона. 2020. С. 116-119.
- 9 Об утверждении Правил по охране труда при производстве отдельных видов пищевой продукции: Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 7 декабря 2020 г. № 866н.
- 10 СанПиН 2.3.2.1078–01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов.
- 11 ГОСТ 12.2.135-95. Оборудование для переработки продукции в мясной и птицеперерабатывающей промышленности. Общие требования безопасности, санитарии и экологии.
- 12 Bakieva A. et al. Developing new type of disk plate for meat chopper and its effect to water-binding capacity and yield stress of minced meat // International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development. 2019. V. 9. №. 6. P. 377-390.
- 13 Chung S.M., Hellberg R.S. Effects of poor sanitation procedures on cross-contamination of animal species in ground meat products // Food Control. 2020. V. 109. P. 106927. doi: 10.1016/j.foodcont.2019.106927
- 14 da Silva D.A.L., Dias M.R., Cossi M.V.C., de Castilho N.P.A. et al. Hygiene and safety in the meat processing environment from butcher shops: microbiological contamination and *Listeria monocytogenes* // Journal of food protection. 2016. V. 79. №. 4. P. 628-634. doi: 10.4315/0362-028X.JFP-15-482
- 15 Batrachenko A.V., Filimonova N.V. The influence of structural and kinematic parameters of working bodies of the meat grinders on its productivity // Foods and Raw materials. 2017. V. 5. №. 1. P. 118-130.
- 16 Doosti A., Ghasemi Dehkordi P., Rahimi E. Molecular assay to fraud identification of meat products // Journal of food science and technology. 2014. V. 51. P. 148-152.
- 17 Martínez-Chávez L., Cabrera-Díaz E., Pérez-Montañón J.A., Garay-Martínez L.E. et al. Quantitative distribution of *Salmonella* spp. and *Escherichia coli* on beef carcasses and raw beef at retail establishments // International Journal of Food Microbiology. 2015. V. 210. P. 149-155. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2015.06.016
- 18 Mousavi S.M., Khaniki G.J., Eskandari S., Rabiei M. et al. Applicability of species-specific polymerase chain reaction for fraud identification in raw ground meat commercially sold in Iran // Journal of Food Composition and Analysis. 2015. V. 40. P. 47-51. doi: 10.1016/j.jfca.2014.12.009
- 19 Zinina O., Rebezov M., Khayrullin M., Neverova O. et al. Sensory, physical and chemical characteristics of fermented minced meat // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2020. V. 548. №. 8. P. 082012. doi: 10.1088/1755-1315/548/8/082012
- 20 Losito P., Visciano P., Genuardo M., Satalino R. et al. Evaluation of hygienic conditions of food contact surfaces in retail outlets: Six years of monitoring // LWT. 2017. V. 77. P. 67-71. doi: 10.1016/j.lwt.2016.11.029

References

- 1 Kozlova E.I., Lyovochkina T.G., Ramazantseva D.A. Modern equipment for the meat industry. Economic environment. 2017. no. 4. pp. 103-109. (in Russian).
- 2 Seryogin S.N., Kornienko A.V., Frolova N.A. Problems and prospects for the production of equipment for enterprises of the food and processing industry in Russia. Food Industry. 2018. no. 1. pp. 8-13. (in Russian).
- 3 Bogdanov A.V., Vasilenko K.E. Meat grinder. Patent no. 212508, RF, 2022.
- 4 Rudik F.Ya., Bogatyrev S.A., Skryabina L.Yu., Lyalyakin V.P. The feasibility of restoring and ways to increase the service life of cutting tools in industrial meat grinders. Proceedings of GOSNITI. 2014. vol. 115. pp. 128-133. (in Russian).
- 5 Fedorenko T.V. Methods of sanitary-microbiological research of food products. Agro-industrial complex: problems and development prospects. 2020. pp. 157-157. (in Russian).
- 6 TR TS 021/2011. On food safety (as amended as of November 25, 2022). (in Russian).
- 7 TR TS 034/2013. On the safety of meat and meat products. (in Russian).
- 8 Popov A.V., Statsenko E.N. Sanitary and hygienic procedures at a meat industry enterprise. Biodiversity, bioresources, issues of biotechnology and health of the population of the North Caucasus region. 2020. pp. 116-119. (in Russian).
- 9 On approval of the Rules for labor protection in the production of certain types of food products: Order of the Ministry of Labor and Social Protection of the Russian Federation of December 7, 2020 No. 866n. (in Russian).
- 10 SanPiN 2.3.2.1078–01. Hygienic requirements for the safety and nutritional value of food products. (in Russian).
- 11 GOST 12.2.135-95. Equipment for processing products in the meat and poultry processing industry. General safety, sanitation and environmental requirements. (in Russian).
- 12 Bakieva A. et al. Developing new type of disk plate for meat chopper and its effect to water-binding capacity and yield stress of minced meat. International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development. 2019. vol. 9. no. 6. pp. 377-390.

- 13 Chung S.M., Hellberg R.S. Effects of poor sanitation procedures on cross-contamination of animal species in ground meat products. *Food Control*. 2020. vol. 109. pp. 106927. doi: 10.1016/j.foodcont.2019.106927
- 14 da Silva D.A.L., Dias M.R., Cossi M.V.C., de Castilho N.P.A. et al. Hygiene and safety in the meat processing environment from butcher shops: microbiological contamination and *Listeria monocytogenes*. *Journal of food protection*. 2016. vol. 79. no. 4. pp. 628-634. doi: 10.4315/0362-028X.JFP-15-482
- 15 Batrachenko A.V., Filimonova N.V. The influence of structural and kinematic parameters of working bodies of the meat grinders on its productivity. *Foods and Raw materials*. 2017. vol. 5. no. 1. pp. 118-130.
- 16 Doosti A., Ghasemi Dehkordi P., Rahimi E. Molecular assay to fraud identification of meat products. *Journal of food science and technology*. 2014. vol. 51. pp. 148-152.
- 17 Martínez-Chávez L., Cabrera-Díaz E., Pérez-Montaña J.A., Garay-Martínez L.E. et al. Quantitative distribution of *Salmonella* spp. and *Escherichia coli* on beef carcasses and raw beef at retail establishments. *International Journal of Food Microbiology*. 2015. vol. 210. pp. 149-155. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2015.06.016
- 18 Mousavi S.M., Khaniki G.J., Eskandari S., Rabiei M. et al. Applicability of species-specific polymerase chain reaction for fraud identification in raw ground meat commercially sold in Iran. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2015. vol. 40. pp. 47-51. doi: 10.1016/j.jfca.2014.12.009
- 19 Zinina O., Rebezov M., Khayrullin M., Neverova O. et al. Sensory, physical and chemical characteristics of fermented minced meat. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2020. vol. 548. no. 8. pp. 082012. doi: 10.1088/1755-1315/548/8/082012
- 20 Losito P., Visciano P., Genuardo M., Satalino R. et al. Evaluation of hygienic conditions of food contact surfaces in retail outlets: Six years of monitoring. *LWT*. 2017. vol. 77. pp. 67-71. doi: 10.1016/j.lwt.2016.11.029

Сведения об авторах

Андрей В. Богданов д.т.н., профессор, кафедра безопасности жизнедеятельности, Южно-Уральский государственный университет, пр-т Ленина, 76, г. Челябинск, 454080, Россия, bav-64@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-8325-1598>

Кристина Е. Василенко аспирант, кафедра технического сервиса машин, оборудования и безопасности жизнедеятельности, Южно-Уральский государственный аграрный университет, пр. Ленина, 75, Челябинск, 454080, Россия, krisv95@mail.ru

Вклад авторов

Андрей В. Богданов научное руководство, формулирование основных направлений, доработка текста, формирование общих выводов

Кристина Е. Василенко обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты

Information about authors

Andrey V. Bogdanov Dr. Sci. (Engin.), professor, life safety department, South Ural State Agrarian University, Lenin Ave., 76 Chelyabinsk, 454080, Russia, bav-64@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-8325-1598>

Kristina E. Vasilenko graduate student, technical service of machines, equipment and life safety department, South Ural State Agrarian University, Lenin Ave., 75 Chelyabinsk, 454080, Russia, krisv95@mail.ru

Contribution

Andrey V. Bogdanov scientific guidance, formulation of the main directions, revision of the text, formation of general conclusions

Kristina E. Vasilenko literary analysis, research, preparation of the initial version of the text, formation of general conclusions.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 15/03/2023	После редакции 05/04/2023	Принята в печать 28/04/2023
Received 15/03/2023	Accepted in revised 05/04/2023	Accepted 28/04/2023

Пищевая биотехнология

Food biotechnology

DOI: <http://doi.org/10.20914/2310-1202-2023-2-50-58>

Оригинальная статья/Research article

УДК 640

Open Access

Available online at vestnik-vsuet.ru

Изменение электрического импеданса мяса коз в процессе автолиза

Людмила В. Антипова¹ antipova.l54@ya.ru

0000-0002-1416-0297

Сергей А. Титов¹ 125Titov@mail.ru

0000-0003-1612-0018

Залина Х. Кумолагова² kumalagova.zalina@ya.ruВладимир Н. Санин³ vsanin@ro.ru¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия² Северо-Осетинская государственная медицинская академия Министерства здравоохранения Российской Федерации, ул.

Пушкинская, 40 г. Владикавказ, 362019 Республика Северная Осетия-Алания

³ Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», ул. Старых Большевиков, 54а, г. Воронеж, 394064, Россия

Аннотация. Представлены данные по развитию мясного козоводства и показана перспективность этой подотрасли животноводства в получении мясных продуктов. Представлена динамика электрического импеданса козьего мяса в ходе автолиза. Для проведения исследований предложена электрофизическая методика, позволяющая на основе измерения амплитуды сигнала на образце, сдвига фаз между колебаниями тока и напряжения в цепи рассчитать активную и реактивную составляющие импеданса образца мяса и затем, согласно эквивалентной электрической схеме образца, найти параметры этой схемы – величины электрических сопротивлений и емкостей. Объектом исследования являлись длиннейшая мышца спины козьего мяса, имеющая особую ценность для производства мясных продуктов питания, в том числе функционального назначения. Измерения проводили в частотном диапазоне 10–100000 Гц. Обнаружено, что модуль комплексного сопротивления образцов мышечной ткани уменьшается в течение времени хранения, а зависимость угла сдвига фаз от частоты на частотах 10 – 500 Гц со временем сдвигается в сторону больших частот, причём величина экстремума на частотах около 50000 Гц уменьшается. Анализ зависимости параметров эквивалентной схемы образца от времени автолиза показывает, что данные изменения связаны с синтезом аденозинтрифосфорной кислоты в первые часы после убоя и увеличением проницаемости клеточных мембран. Результаты анализа имеют сходность с показателями при исследовании микроструктуры и изменениях водородного показателя мяса в ходе автолиза. Представленные данные могут быть положены в основу создания электрофизического экспресс-метода контроля автолиза и прогнозирования функционально-технологических свойств систем животного происхождения.

Ключевые слова: электрический импеданс, мясо коз, автолиз, мясные продукты, развитие козоводства.

Changes in the electrical impedance of goat meat in the process of autolysis

Ludmila V. Antipova¹ antipova.l54@ya.ru

0000-0002-1416-0297

Sergey A. Titov¹ 125Titov@mail.ru

0000-0003-1612-0018

Zalina H. Kumolagova² kumalagova.zalina@ya.ruVladimir N. Sanin³ vsanin@ro.ru¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia² North Ossetian State Medical Academy Ministry of Health of the Russian Federation, Pushkinskaya str., 40 Vladikavkaz, 362019 Republic of North Ossetia-Alania³ Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin, st. Old Bolsheviks, 54a, Voronezh, 394064, Russia

Abstract. The data on the development of meat goat breeding are presented and the prospects of this sub-branch of animal husbandry in obtaining meat products are shown. The dynamics of electrical impedance of goat meat during autolysis is presented. For carrying out of researches the electrophysical method is offered, allowing on the basis of measurement of amplitude of a signal on a sample, phase shift between fluctuations of current and voltage in a circuit to calculate active and reactive components of impedance of a sample of meat and then, according to the equivalent electric scheme of a sample, to find parameters of this scheme - values of electric resistances and capacitances. The object of the study was the longest muscle of the back of goat meat, which has a special value for the production of meat food products, including functional purpose. Measurements were carried out in the frequency range of 10-100000 Hz. It was found that the modulus of complex resistance of muscle tissue samples decreases during storage time, and the phase angle dependence on frequency at frequencies 10 - 500 Hz shifts towards higher frequencies with time, with the value of the extremum at frequencies around 50000 Hz decreasing. Analysis of the dependence of the parameters of the equivalent circuit of the sample on the time of autolysis shows that these changes are associated with the synthesis of adenosine triphosphoric acid in the first hours after slaughter and an increase in the permeability of cell membranes. The results of the analysis have similarity with indicators in the study of microstructure and changes in the hydrogen index of meat during autolysis. The presented data can be used as a basis for the creation of electrophysical express-method of autolysis control and prediction of functional and technological properties of systems of animal origin.

Keywords: electrical impedance, goat meat, autolysis, meat products, goat breeding development.

Для цитирования

Антипова Л.В., Титов С.А., Кумолагова З.Х., Санин В.Н. Изменение электрического импеданса мяса коз в процессе автолиза // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 2. С. 50–58. doi:10.20914/2310-1202-2023-2-50-58

For citation

Antipova L.V., Titov S.A., Kumolagova Z.H., Sanin V.N. Changes in the electrical impedance of goat meat in the process of autolysis. Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 2. pp. 50–58. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-2-50-58

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

Введение

При общей тенденции роста продукции животноводства, мясное козоводство в России имеет хорошие перспективы развития и с учетом технологических аспектов содержания и кормления, мясные козы в наибольшей степени подходят для разведения в личных хозяйствах населения, а также в промышленных масштабах, как альтернатива разведению КРС и МРС. [1]. Повсеместно возрастающий интерес к козьему молоку, особенно для функционального и специализированного (особенно детского) питания побуждает необходимость последующего накопления и рационального использования, развития ассортиментных линеек козьих мясопродуктов. Однако научные основы данного направления переработки мяса коз развиты недостаточно.

Популярность коз и продуктов козоводства среди населения тесно связана с наращиванием поголовья, что диктует необходимость поставки на производство переработку коз с получением мяса и мясных продуктов разнообразного ассортимента на основе научного обоснования технологических условий.

Козоводство, как мясная подотрасль, получило распространение сравнительно недавно. Исторически оно связано с получением шерсти и молока. Наращивание числа голов этих животных ставит как актуальную задачу накопления козлятины позднего продуктивного периода, что требует исследования свойств козлятины в процессе хранения и переработки, и в первую очередь, связано с развитием автоматических превращений в сырье.

Между тем в мире сложилась определенная практика накопления и переработки козлятины по континентам (тыс. голов: Африка – 245, 1; Америка – 41,1; Европа – 18, 1; Азия – 545, 0; Австралия – 0,45). Геолого-климатические условия разведения и содержания, национальные особенности культуры питания, уровни развития производства в странах мира объясняют разницу в объемах переработки (тыс. т: Китай – 137,87; Индия – 125, 46; Пакистан – 25, 53; Судан – 49,9; Иран – 25,53; Монголия – 15,45; Мексика – 8,90; Турция – 6,28; Испания – 2,89; США – 2,93; Франция – 1,25; Италия – 0,99)

Среди республик бывшего СССР заметно отличаются азиатские, такие как Россия, Казахстан, Киргизия, Азербайджан, Туркменистан, Таджикистан, Узбекистан. При этом козоводство в России имеет выраженный региональный характер (тыс. голов): республика Дагестан – более 5073,5; Калмыкия – 2332,0; Ставропольский край – 2285,0; Тыва – 1137,1.

Породы коз принято подразделять на молочные и шерстяные. Последние в свою очередь подразделяются на европейские и индоафриканские, а также ангорские, кашмирские и др.

Соответственно получили известность и выделяются в группу мясных пород такие как серана, бурская, бенгальская, таджикская, узбекская, дагестанская и др. (рисунок 1)



Рисунок 1. Мясные породы коз

Figure 1. Meat breeds of goats

Разделка козьих туш мало чем отличается от традиционной, однако сырье более благополучно по показателям безопасности, особенно по радионуклидам, свинцу, мышьяку. Свойства мясных систем определяются в наибольшей степени глубиной и характером автолиза, т.е. биохимическими изменениями структуры и свойств, входящих в него компонентов, которые, как известно, в свою очередь определяют технологическую направленность и пригодность в разработке ассортиментных групп продуктов [2]. Изменение свойств мяса под воздействием автолитических процессов – сложнейшая фундаментальная задача, определяющая особенности и направления использования этого вида пищевого сырья. Биохимия мяса описывает прижизненные функции и строение тканей животных организмов, механизмы их превращений под действием ферментов и химических веществ. В настоящее время определены и описаны стадии автолиза, формирующие специфику строения белковых молекул, углеводных систем и тканей мяса, определяющих рациональность его использования в технологии ассортиментных линеек мясных продуктов [3,4]. На начальных стадиях автолиза мясо не имеет в достаточной мере необходимых органолептических свойств, на определенной стадии автолиза (посмертное окоченение) оно не пригодно для изготовления большинства мясопродуктов из-за высокой жесткости и низкой влагосвязывающей способности и лишь на стадии созревания оно имеет наиболее широкое технологическое применение. Ввиду технологической значимости автолиза были подробно изучены биохимические процессы, структурно-механические свойства, микроструктура тканей при автолитических превращениях крупного рогатого скота и свиней [5, 6].

На ход автолиза мяса большое влияние оказывает активность ферментов, расщепляющих белки – катепсинов [7], а также кальпайнов – кальций-зависимых цистеин-нейтральных протеиназ, определяющих деградацию миофибриллярных белков [8–10]. В [8] показана роль кальпайнов в формировании структурно-механических свойств мяса, определяющих его нежность. Внимание исследователей привлекает не только автолиз мяса скота, но и автолиз тканей других видов животных – птицы [11, 12], рыбы [13, 14], морских ракообразных [15] и даже автолитические превращения в одноклеточных микроорганизмах – бактериях и дрожжах [16, 18]. В работе [17] показано, что одним из факторов, влияющих на автолиз дрожжей *Sacharomicescerevisiae* могут являться импульсные электрические поля. Обработка импульсными электрическими полями увеличивает количество маннозы, высвобождаемое в ходе автолиза. Среда, содержащая дрожжи, обработанные импульсными электрическими полями, содержала примерно в 2 раза больше маннопротеинов, чем среда, содержащая необработанные дрожжи. Исследование автолиза дрожжевых клеток имеет и некоторое практическое значение. Например, отработанные пивные дрожжи используются для производства дрожжевого экстракта путём автолиза [18].

Указанные причины подчеркивает желательность и необходимость оценки сырья при определении стадии автолиза.

Однако показатели превращений белково-углеводных систем мяса известными методами (морфологический и физико-химический) определить достаточно сложно, это требует времени, наличия специализированных кадров.

Электрофизике автолиза в существующей литературе пока не уделялось должного внимания.

Между тем, существует потребность в экспресс-диагностике автолиза, для которой могут быть применены электрофизические методы. Кроме того, представляет интерес и собственно изменение электрофизических свойств мяса в процессе автолиза, так как электрофизические методы обработки применяются в мясной технологии при массировании мяса, для ускорения его созревания, при термообработке в ходе изготовления колбасных изделий с целью улучшения функционально-технологических свойств мясного сырья.

Цель работы – исследование электрофизических свойств мышечной ткани коз на различных этапах автолиза.

Методы

Объектом исследования служила козлятина свежая забитая (в полутушах) произведённая в частном подсобном хозяйстве города Воронежа, из которой выделялась длиннейшая мышца спины в лабораторных условиях. В ней идентифицирована развитая мышечная ткань

без визуальных признаков соединительной и жировой тканей.

Изменение электрического импеданса в объекте (частотная зависимость комплексного сопротивления) при воздействии электрического сигнала позволяет оценить электрофизические параметры тканей, в частности модуль комплексного сопротивления (Z), угол фазового сдвига между током и направлением активной и реактивной составляющих (ёмкостных) Z_K и Z_C .

Эти параметры возможно рассматривать при оценке внутренней структуры биологических объектов, то есть в нашем случае – параметров клеток мышечной ткани длиннейшей мышцы. Весьма интересно проследить связь изменения свойств тканей и клеток в процессе развития автолиза, что, несомненно, повысило бы эффективность метода по сравнению с известными рутинными методами гистологического и физико-химического анализа.

Известно большое количество эквивалентных электрических схем биологических тканей, позволяющих интерпретировать экспериментальные результаты измерения их импеданса.

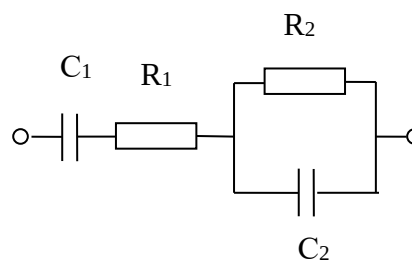


Рисунок 2. Электрическая эквивалентная схема исследуемых образцов тканей

Figure 2. Electrical equivalent circuit of the tested tissue samples

В ходе экспериментальных исследований избран вариант эквивалентной схемы (рисунок 2), где в качестве биохимического объекта выступает система клеток ткани, окруженных межклеточным веществом в которых имеется клеточный сок. Принято, что эквивалент ёмкости на грани раздела электролиза и межклеточной жидкости – элемент C_1 ; сопротивление образующегося двойного электрического слоя – элемент R_1 . Система клеток биологической ткани имеет эквивалентное активное сопротивление R_2 и ёмкость C_2 , которые зависят от электрической ёмкости мембран клеток. Сопротивление R_2 обусловлено сопротивлением мембран и внутриклеточным содержимым.

Величина активной составляющей импеданса определяется формулой:

$$Z_R(\omega) = R_1 + \frac{R_2}{1 + (\omega R_2 C_2)^2}, \quad (1)$$

Реактивную составляющую можно рассчитать по формуле:

$$Z_C(\omega) = \left[\frac{1}{\omega C_1} + \frac{\omega R_2^2 C_2}{1 + (\omega R_2 C_2)^2} \right], \quad (2)$$

Расчет модуля импеданса вели по формуле:

$$|Z| = \sqrt{Z_R^2 + Z_C^2}, \quad (3)$$

Угол фазового сдвига определяли по формуле:

$$\varphi = \arctan\left(\frac{Z_C}{Z_R}\right), \quad (4)$$

Из формулы (1) следует, что при $\omega \rightarrow \infty$ значение $Z_R(\omega) = R_1$, т.к

$$\frac{R_2}{1 + (\omega R_2 C_2)^2} \rightarrow 0;$$

Из формулы (2): при стремлении $\omega \rightarrow \infty$ величина $\frac{1}{\omega C_1} \rightarrow 0$. При этом функция

$$Z_C(\omega) = \left[\frac{\omega R_2^2 C_2}{1 + (\omega R_2 C_2)^2} \right]$$

имеет при частоте

$$\omega_{\max} = \frac{1}{R_2 C_2}$$

максимум, величина которого

$$Z_C(\omega) = 0,5 \times R_2.$$

Определив из экспериментальных данных величины R_2 и $\omega_{\max}$ можно рассчитать

$$C_2 = \frac{1}{\omega_{\max} R_2}, \quad (5)$$

При стремлении $\omega \rightarrow \infty$ величина

$$Z_C(\omega) \approx \frac{1}{\omega C_1} + \frac{1}{\omega C_2} \quad (6)$$

Тогда значения C_1 определяем из формулы:

$$C_1 = \frac{1}{\omega \left(Z_c - \frac{1}{\omega C_2} \right)}, \quad (7)$$

Таким образом, проведя анализ частотных зависимостей $Z_C(\omega)$ и $Z_R(\omega)$, можно определить все элементы эквивалентной схемы животной ткани.

Рассчитывались величины реактивной и активной составляющей импеданса $Z_C(\omega)$ и

$Z_R(\omega)$ численными методами из системы уравнений (3), (4). По результатам измерения величин модуля комплексного сопротивления и угла фазового сдвига.

Блок-схема представлена на рисунке 3.

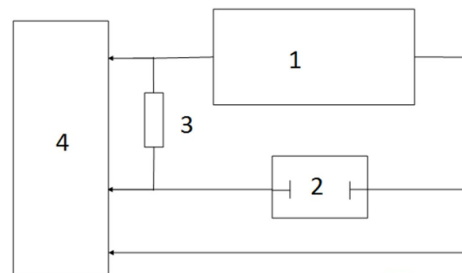


Рисунок 3. Схема установки измерений

Figure 3. Schematic diagram of the measurement setup

Измерительный сигнал поступает от генератора 1 на измерительную ячейку 2, последовательно с которой включен резистор 3. Переменные напряжения U_1 с резистора 3, а также с U_2 ячейки 2 подаются на измеритель сдвига фаз, который определяет разность фаз φ между колебаниями напряжения и, кроме того, действующие значения напряжений.

Величина R сопротивления 3 подбирается таким образом, чтобы падение напряжения на нем было значительно больше падения напряжения на измерительной ячейке.

Расчет модуля импеданса для рассматриваемого случая:

$$|Z| = \frac{U_2 R}{U_1}, \quad (8)$$

Зная величины Z и φ из системы уравнений (3) и (4) можно определить значения активной Z_R и реактивной Z_C составляющих импеданса, а затем по вышеприведенной методике рассчитать параметры эквивалентной схемы.

Измерения проводили при $T = 296$ К в диапазоне частот от 5 до 500 кГц. Electroдами служили покрытые оловом (чистота 99,9%) медные пластины.

В ходе экспериментальных исследований, кроме расчетов, использовали также методы определения: pH – по ГОСТ Р 51478; глюкоза – по ГОСТ 29301; гликоген – по ГОСТ 34134.

Микроструктура мяса определялась методом световой микроскопии в соответствии с [1].

Результаты и обсуждение

Длиннейшую мышцу спины хранили при температуре $-1 \div \pm 4$ градуса Цельсия. Периодически отрезая часть для сравнительного анализа изучения структуры мышечной ткани. Гистологию тканей изучали традиционным методом, предлагаемым параллельно.

Авторы установили, что с истечением времени хранения мяса коз наблюдается развитие автолитических превращений: фрагментация и распад структуры клеток (рисунок 4), отложение солей кальция (рисунок 5), извитость мышечных волокон (рисунок 6).

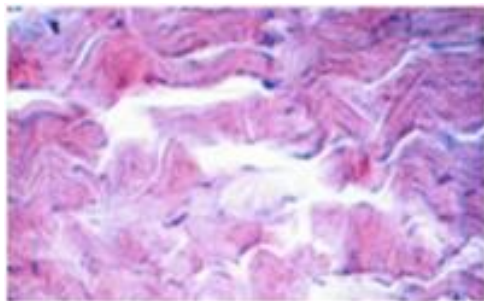


Рисунок 4. Фрагментация и распад мышечных волокон. Окр. Гематоксилин-Эозин. Ув.×200

Figure 4. Fragmentation and disintegration of muscle fibers. Hematoxylin-Eosin. Eq.×200.

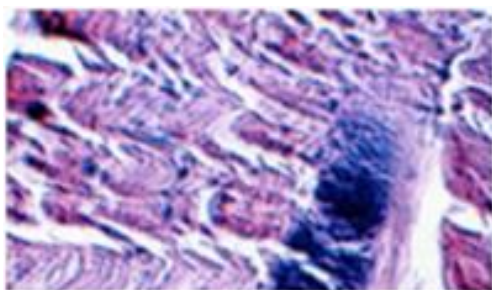


Рисунок 5. Отложение солей и кальция, в межмышечных пространствах обильные скопления транссудата. Окр. Гематоксилин-Эозин. Ув.×200

Figure 5. Deposition of salts and calcium, in intermuscular spaces abundant accumulations of transudate. Hematoxylin-Eosin. Eq.×200.

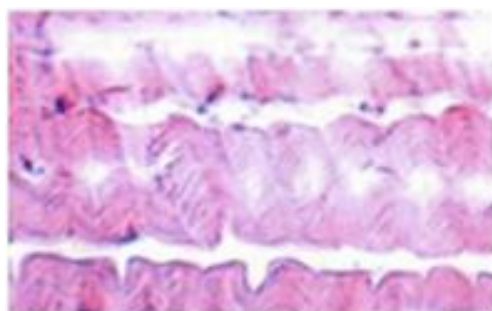


Рисунок 6. Извитая микроструктура мышечных волокон. Окр. Гематоксилин-Эозин. Ув. ×200

Figure 6. Twisted microstructure of muscle fibers. Hematoxylin-Eosin. Eq. ×200.

Из приведённых данных видно, что козы представляют интерес как сырьевой ресурс с пониженным содержанием жира. Проведены необходимые измерения модуля комплексного сопротивления и угла фазового сдвига между временными зависимостями силы тока и напряжения на частотах 10–100000 Гц.

Модуль комплексного сопротивления исследуемых образцов уменьшается в течение времени хранения. Зависимость угла сдвига от частоты на частотах 10–500 Гц со временем сдвигается в сторону больших частот, а величина экстремума на частотах 50000 Гц – уменьшается (рисунок 7).

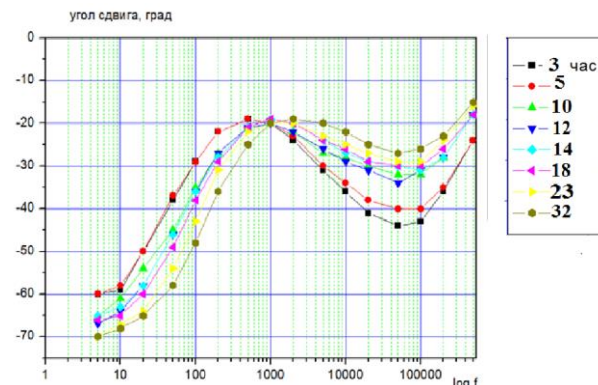


Рисунок 7. Зависимость угла сдвига от частоты
Figure 7. Dependence of shear angle on frequency

Экспериментальные графики на рисунках совпадают с расчетными для эквивалентной схемы, (рисунок 8)

Для данной эквивалентной схемы можно записать формулы (1)–(4), анализ которых приводит к выводу, что, измерив на стандартном оборудовании величины ϕ и Z в зависимости от частоты измерительного сигнала и рассчитав из уравнений (3), (4) активную и реактивную составляющие импеданса Z_R и Z_C , можно по их частотным зависимостям численными методами определить параметры эквивалентной схемы C_1 , R_1 , R_2 , C_2 .

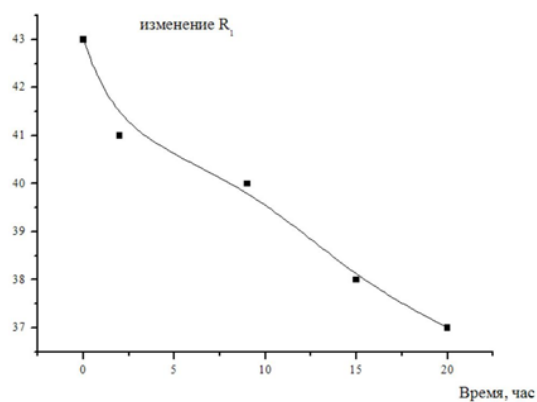
Для этого, варьируем параметры эквивалентной схемы и подставляем их в формулы (1) и (2) до тех пор, пока рассчитанные по этим формулам частотные зависимости $Z_C(\omega)$ и $Z_R(\omega)$ не совпадут с определением по формуле (3) и (4).

Изменения параметров схемы от времени показано на рисунках.

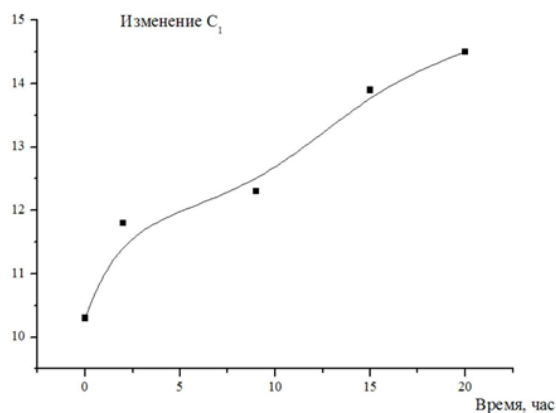
Классические представления об автолизе мышечной ткани связаны с ресинтезом аденозинтрифосфорной кислоты в первые часы после убоя благодаря анаэробному распаду гликогена, в результате чего понижается pH из-за накопления молочной кислоты. Это приводит к возрастанию концентрации высокоподвижных ионов водорода внутри клетки, что вызывает резкое снижение сопротивления R_2 . Учитывая, что введение электродов в образец вызывает изменения в прилегающих клетках с некоторым их повреждением, можно заключить, что происходит

обогащение двойного электрического слоя и соответственно изменяются параметры R_1 и C_1 , характеризующие состояние этого слоя.

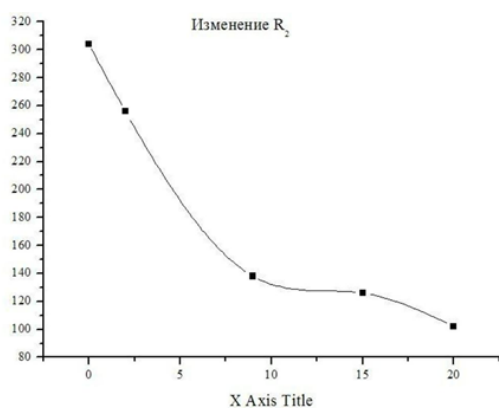
Сопоставление результатов электрофизических изменений с данными химического анализа мышечной ткани коз в течение автолиза (таблица 1) показывает, что вышеописанные процессы происходят в первые 8 часов после убоя.



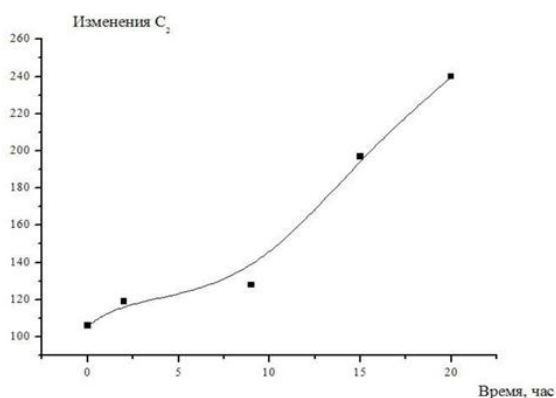
(a)



(b)



(c)



(d)

Рисунок 8. Зависимость параметров эквивалентной схемы от времени, (a) сопротивление R_1 , (b) емкость C_1 , (c) сопротивление R_2 , (d) емкость C_2

Figure 8. Time dependence of equivalent circuit parameters, (a) resistance, (b) capacitance, (c) resistance, (d) capacitance

Таблица 1.

Динамика изменения pH, содержания углеводов фракций в длиннейшей мышце спины козлятины

Table 1.

Dynamics of changes in pH, carbohydrate fractions content in goat back long muscle

Продолжительность хранения, час Storage time, hour	pH мышечной ткани pH of muscle tissue	Содержание глюкозы, мг % Glucose content, mg %	Содержание молочной кислоты, мг % Lactic acid content, mg %
1	6,18	95,2 ± 1,3	333,4 ± 1,3
5	5,51	109,4 ± 1,5	766,5 ± 1,6
12	5,54	141,2 ± 1,8	760,3 ± 1,6
24	5,59	127,4 ± 1,2	752,2 ± 1,7
48	5,62	120,2 ± 1,8	728,9 ± 2,1
72	5,88	126,6 ± 1,4	721,3 ± 1,5
120	5,68	130,5 ± 1,5	715,5 ± 1,8
240	5,82	145,5 ± 1,3	703,5 ± 1,6

Снижение водородного показателя в этот период сопровождается высвобождением связанных ионов кальция, что приводит к изменению содержания кальпаина, распаду АТФ, а также деформации фибриллярного актина. Вследствие этого происходит образование актомиозина с последующим сокращением мышечных волокон – посмертным окоченением. На более поздних стадиях автолиза протекают заметные изменения клеточной структуры тканей и, в частности, деструкция мембранной системы клеток. Так происходит отслоение сарколеммы от клетки мышечного волокна, сопровождающееся разрывом плазмолеммы в местах перехода в Т-систему и в отслоение от базальной мембраны. В этот же период происходит разволокнение и разрыхление соединительно-тканых прослоек между мышечными волокнами, что подтверждается сделанными нами микрофотографиями мышечной ткани коз спустя 24 часа после убоя (рисунок 9).

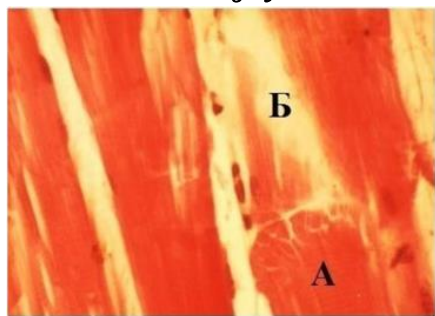


Рисунок 9. Микроструктура мышечного волокна длиннейшая мышца спины через 24 часа хранения после убоя. Окр. Гематоксилин-Эозин. Ув.×200

Figure 9. Microstructure of muscle fiber of the longest muscle of the back 24 hours of storage after slaughter. Hematoxylin-Eosin staining. Eq.×200.

Кроме того, вследствие липофанероза, которому способствует снижение pH ткани, идут изменения морфологии мембран саркоплазматического ретикулула. Минимум на частоте зависимости угла фазового сдвига в области 103–105 Гц наблюдается для различных видов растительной и животной ткани и исчезает по мере термической или механической деструкции клеточной системы ткани. Исчезновение со временем минимума в области 50000 Гц для образцов мяса коз также можно связать с изменениями клеточной системы животной ткани на определенных стадиях автолиза (разрешение посмертного окоченения и созревание мяса). Возможно, ранний минимум обусловлен ограничением свободы передвижения ионов в клетке, тогда рост ионной проницаемости клеточных мембран, проявляющийся вследствие их автолитических изменений, способствует уменьшению величины минимума. Соответственно, при временах автолиза свыше 10 часов происходит рост эквивалентной емкости C_2 , связанной с электроемкостью мембранной системы.

Анализ литературных данных показывает, что для управления ходом автолиза мяса кроме уже упомянутых электрофизических воздействий использовались также обработка концентратом сывороточных белков, проявляющих ингибирующие свойства по отношению к автолитическим превращениям мышечной ткани рыбы и коз [19], что в свою очередь отражалось на структурно-

механических свойствах гелей, полученных из этих видов сырья. Выдерживание свинины в рассоле, обработанном ультразвуком, приводит к накоплению в среде избыточных электронов, способных активировать метмиоглобин, и, в конечном итоге, к стабилизации цвета мяса [20]. При использовании ультразвуковой обработки говядины воздействие ультразвука увеличивает количество автолизированных субъединиц и снижает численность субъединиц в интактной форме [21]. Соответственно такое воздействие значительно увеличивало индекс фрагментации миофибрилл и уменьшало сдвиговые напряжения в образцах мяса. Поэтому обработка ультразвуком может увеличивать нежность мышечной ткани говядины за счёт регулирования активации кальпаина и деградации белка во время автолиза.

Однако для реализации всех этих методов влияния на автолиз и разработки соответствующего технологического оборудования необходима информация о ходе автолиза с течением времени, причём желательно, чтобы результаты измерений были бы получены немедленно для обеспечения возможности оперативной корректировки процесса автолиза [22]. Представленные в настоящей работе данные по электрофизике автолиза на примере мяса коз создают основу для дальнейших исследований, направленных на разработку экспресс-метода контроля автолиза с помощью электрофизических измерений.

Заключение

Особенности частотных зависимостей импеданса мяса коз при автолитических изменениях могут быть объяснены на основе существующих представлений о биохимии и микроструктуре мышечной ткани в ходе автолиза. На базе полученных в настоящей работе данных может быть создана экспресс-методика электрофизического контроля автолиза мяса коз. Данный метод имеем ряд преимуществ перед существующими: экспрессность, объективность, малая трудоемкость, не требует разрушения нативных структур. При создавшихся условиях мясного рынка, где заметное место может занять мясо коз, рассмотренные в статье подходы в определении стадии автолиза, а следовательно функционально-технологических свойств и качества мяса весьма перспективных.

Литература

- 1 Волков А.Д. Овцеводство и козоводство: учебник; 3-е изд. Санкт-Петербург: Лань, 2020. 280 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/130483>
- 2 Цикин С.С., Родина Н.Д., Сергеева Е.Ю. Изучение свойств мясного сырья нетрадиционных видов животных с аномальным характером автолиза // Вестник аграрной науки. 2017. № 3. С. 158–163. URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue / 302027>
- 3 Боровков М.Ф., Волков А.Х., Папуниди Э.К., Якупова Л.Ф. Ветеринарно-санитарная экспертиза мяса и мясных продуктов: учебное пособие. Казань: КГАВМ им. Баумана, 2020. 184 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/156774>
- 4 Криштафович В.И., Позняковский В.М., Гончаренко О.А., Криштафович Д.В. Товароведение и экспертиза мясных и мясосодержащих продуктов. Санкт-Петербург: Лань, 2020. 432 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/129085>

- 5 Мишанин Ю.Ф. Биотехнология рациональной переработки животного сырья: учебное пособие; 2-е изд., стер. Санкт-Петербург: Лань, 2020. 720 с. URL: <https://e.lanbook.com/book / 139248>
- 6 Слесаренко Н.А., Оганов Э.О., Степанишин В.В. Структурный контроль качества сырья и продуктов животного происхождения: учебник. Санкт-Петербург: Лань, 2019. 204 с. URL: <https://e.lanbook.com/book / 122161>
- 7 Дворянинова О.П., Антипова Л.В., Соколов А.В. Протеолитические ферменты прудовых рыб: способы выделения и свойства // Известия ТИНРО (Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра). 2016. Т. 187. С. 245-253.
- 8 Liu R., Lonergan S., Steadham E., Zhou G. et al. Effect of nitric oxide and calpastatin on the inhibition of μ -calpain activity, autolysis and proteolysis of myofibrillar proteins // Food chemistry. 2019. V. 275. P. 77-84. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.09.104
- 9 Ramos P.M., Wright S.A., Delgado E.F., Van Santen E. et al. Resistance to pH decline and slower calpain-1 autolysis are associated with higher energy availability early postmortem in Bos taurus indicus cattle // Meat Science. 2020. V. 159. P. 107925. doi: 10.1016/j.meatsci.2019.107925
- 10 Ilian M.A., Bekhit A.E.D., Bickerstaffe R. The relationship between meat tenderization, myofibril fragmentation and autolysis of calpain 3 during post-mortem aging // Meat Science. 2004. V. 66. №. 2. P. 387-397. doi: 10.1016/S0309-1740(03)00125-6
- 11 Jamdar S.N., Harikumar P. Autolytic degradation of chicken intestinal proteins // Bioresource technology. 2005. V. 96. №. 11. P. 1276-1284. doi: 10.1016/j.biortech.2004.10.014
- 12 Chang Y.S., Hsu M.J., Chou R.G.R. Postmortem role of calpain-11 in ostrich skeletal muscle // Meat science. 2018. V. 143. P. 147-152. doi: 10.1016/j.meatsci.2018.04.024
- 13 Hansen L.T., Gill T., Røntved S.D., Huss H.H. Importance of autolysis and microbiological activity on quality of cold-smoked salmon // Food Research International. 1996. V. 29. №. 2. P. 181-188. doi: 10.1016/0963-9969(96)00003-8
- 14 Antipova L.V., Storublevtsev S.A., Titov S.A., Antipov S.S. et al. A study of the use of modified collagen of freshwater fish as a material for personal care products // Wound Healing. 2019.
- 15 da Silva C.P., Bezerra R.S., Carvalho L.B. Biological value of shrimp protein hydrolysate b5y-product produced by autolysis // LWT. 2017. V. 80. P. 456-461.
- 16 Yamato M., Nakada R., Nakamura Y. Release of spiroisin associated with potassium phosphate-induced autolysis in Lactobacillus reuteri DSM 20016 // Microbiological research. 1998. V. 153. №. 1. P. 29-35. doi: 10.1016/S0944-5013(98)80018-9
- 17 Martínez J.M., Delso C., Raso J. Factors influencing a6u0tolysis of Saccharomyces cerevisiae cells induced by pulsed electric fields // Food Microbiology. 2017. V. 73. P. 67-72.
- 18 Tanguler H., Erten H. Utilisation of spent brewer's yeast for yeast extract production by autolysis: The effect of temperature // Food and bioproducts processing. 2008. V. 86. №. 4. P. 317-321. doi: 10.1016/j.fbp.2007.10.015
- 19 Rawdkuen S., Benjakul S. Whey protein concentrate: Autolysis inhibition and effects on the gel properties of surimi prepared from tropical fish // Food Chemistry. 2008. V. 106. №. 3. P. 1077-1084. doi: 10.1016/j.foodchem.2007.07.028
- 20 Krasulya O., Smirnova A., Bogush V., Shlenskaya N. et al. Estimation of the stability of skeletal muscle myoglobin of chilled pork treated with brine activated by low-frequency high-intensity ultrasound // Ultrasonics Sonochemistry. 2021. V. 71. P. 105363. doi: 10.1016/j.ultsonch.2020.105363
- 21 Wang A., Kang D., Zhang W., Zhang C. et al. Changes in calpain activity, protein degradation and microstructure of beef M. semitendinosus by the application of ultrasound // Food Chemistry. 2018. V. 245. P. 724-730. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.12.003
- 22 Антипов С.Т., Панфилов В.А., Калашников Г.В. Оборудование для ведения тепломассообменных процессов пищевых технологий. Лань, 2020. 460 с.

References

- 1 Volkov A.D. Sheep and goat breeding: textbook. St. Petersburg, Lan, 2020. 280 p. Available at: <https://e.lanbook.com/book/130483> (in Russian).
- 2 Tsikin S.S., Rodina N.D., Sergeeva E.Yu. Study of the properties of raw meat of non-traditional animal species with an anomalous nature of autolysis. Bulletin of Agrarian Science. 2017. no. 3. pp. 158-163. Available at: <https://e.lanbook.com/journal/issue/302027> (in Russian).
- 3 Borovkov M.F., Volkov A.Kh., Papunidi E.K., Yakupova L.F. Veterinary and sanitary examination of meat and meat products: textbook. Kazan, KGAVM im. Bauman, 2020. 184 p. Available at: <https://e.lanbook.com/book/156774> (in Russian).
- 4 Krishtafovich V.I., Poznyakovsky V.M., Goncharenko O.A., Krishtafovich D.V. Commodity research and examination of meat and meat-containing products. St. Petersburg: Lan, 2020. 432 p. Available at: <https://e.lanbook.com/book/129085> (in Russian).
- 5 Mishanin Yu.F. Biotechnology of rational processing of animal raw materials: textbook. St. Petersburg, Lan, 2020. 720 p. Available at: <https://e.lanbook.com/book/139248> (in Russian).
- 6 Slesarenko N.A., Oganov E.O., Stepanishin V.V. Structural quality control of raw materials and products of animal origin: textbook. St. Petersburg, Lan, 2019. 204 p. Available at: <https://e.lanbook.com/book/122161> (in Russian).
- 7 Dvoryaninova O.P., Antipova L.V., Sokolov A.V. Proteolytic enzymes of pond fish: isolation methods and properties. News of TINRO (Pacific Fisheries Research Center). 2016. vol. 187. pp. 245-253. (in Russian).
- 8 Liu R., Lonergan S., Steadham E., Zhou G. et al. Effect of nitric oxide and calpastatin on the inhibition of μ -calpain activity, autolysis and proteolysis of myofibrillar proteins. Food chemistry. 2019. vol. 275. pp. 77-84. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.09.104
- 9 Ramos P.M., Wright S.A., Delgado E.F., Van Santen E. et al. Resistance to pH decline and slower calpain-1 autolysis are associated with higher energy availability early postmortem in Bos taurus indicus cattle. Meat Science. 2020. vol. 159. pp. 107925. doi: 10.1016/j.meatsci.2019.107925
- 10 Ilian M.A., Bekhit A.E.D., Bickerstaffe R. The relationship between meat tenderization, myofibril fragmentation and autolysis of calpain 3 during post-mortem aging. Meat Science. 2004. vol. 66. no. 2. pp. 387-397. doi: 10.1016/S0309-1740(03)00125-6
- 11 Jamdar S.N., Harikumar P. Autolytic degradation of chicken intestinal proteins. Bioresource technology. 2005. vol. 96. no. 11. pp. 1276-1284. doi: 10.1016/j.biortech.2004.10.014

- 12 Chang Y.S., Hsu M.J., Chou R.G.R. Postmortem role of calpain-11 in ostrich skeletal muscle. *Meat science*. 2018. vol. 143. pp. 147-152. doi: 10.1016/j.meatsci.2018.04.024
- 13 Hansen L.T., Gill T., Røntved S.D., Huss H.H. Importance of autolysis and microbiological activity on quality of cold-smoked salmon. *Food Research International*. 1996. vol. 29. no. 2. pp. 181-188. doi: 10.1016/0963-9969(96)00003-8
- 14 Antipova L.V., Storablevtsev S.A., Titov S.A., Antipov S.S. et al. A study of the use of modified collagen of freshwater fish as a material for personal care products. *Wound Healing*. 2019.
- 15 da Silva C.P., Bezerra R.S., Carvalho L.B. Biological value of shrimp protein hydrolysate6 b5y-product produced by autolysis. *LWT*. 2017. vol. 80. pp. 456-461.
- 16 Yamato M., Nakada R., Nakamura Y. Release of spiroisin associated with potassium phosphate-induced autolysis in *Lactobacillus reuteri* DSM 20016. *Microbiological research*. 1998. vol. 153. no. 1. pp. 29-35. doi: 10.1016/S0944-5013(98)80018-9
- 17 Martínez J.M., Delso C., Raso J. Factors influencing a6u0tolysis of *Saccharomyces cerevisiae* cells induced by pulsed electric fields. *Food Microbiology*. 2017. vol. 73. pp. 67-72.
- 18 Tanguer H., Erten H. Utilisation of spent brewer's yeast for yeast extract production by autolysis: The effect of temperature. *Food and bioproducts processing*. 2008. vol. 86. no. 4. pp. 317-321. doi: 10.1016/j.fbp.2007.10.015
- 19 Rawdkuen S., Benjakul S. Whey protein concentrate: Autolysis inhibition and effects on the gel properties of surimi prepared from tropical fish. *Food Chemistry*. 2008. vol. 106. no. 3. pp. 1077-1084. doi: 10.1016/j.foodchem.2007.07.028
- 20 Krasulya O., Smirnova A., Bogush V., Shlenskaya N. et al. Estimation of the stability of skeletal muscle myoglobin of chilled pork treated with brine activated by low-frequency high-intensity ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2021. vol. 71. pp. 105363. doi: 10.1016/j.ultsonch.2020.105363
- 21 Wang A., Kang D., Zhang W., Zhang C. et al. Changes in calpain activity, protein degradation and microstructure of beef *M. semitendinosus* by the application of ultrasound. *Food Chemistry*. 2018. vol. 245. pp. 724-730. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.12.003

Сведения об авторах

Людмила В. Антипова д.т.н., профессор, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, antipova.l54@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1416-0297>

Сергей А. Титов д.т.н., профессор, кафедра физики, теплотехники и теплоэнергетики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, 125Titov@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1612-0018>

Залина Х. Кумолагова к.т.н., старший преподаватель, кафедра химии и физики, Северо-Осетинская государственная медицинская академия Министерства здравоохранения Российской Федерации, ул. Пушкинская, 40 г. Владикавказ, 362019 Республика Северная Осетия-Алания, kumalagova.zalina@ya.ru

Владимир Н. Санин д.ф.-м.н., профессор, кафедра физики и химии, Военный учебно-научный центр Военно-Воздушных сил «Военно-Воздушная Академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, ул. Старых Большевиков, д. 54 а, г. Воронеж, 394064, Россия, vsanin@ro.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

Ludmila V. Antipova Dr. Sci. (Engin.), professor, technology of animal products department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, antipova.l54@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1416-0297>

Sergey A. Titov Dr. Sci. (Engin.), professor, physics, heat engineering and heat power engineering department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, 125Titov@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1612-0018>

Zalina H. Kumolagova Cand. Sci. (Engin.), senior lecturer, chemistry and physics department, North Ossetian State Medical Academy Ministry of Health of the Russian Federation, Pushkinskaya str., 40 Vladikavkaz, 362019 Republic of North Ossetia-Alania, kumalagova.zalina@ya.ru

Vladimir N. Sanin Dr. Sci. (Phys.Math.), professor, physics and chemistry department, Military educational and scientific center of the Air Force "Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin, st. Starykh Bolshevikov, 54 a, Voronezh, 394064, Russia, vsanin@ro.ru

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 11/03/2023	После редакции 06/04/2023	Принята в печать 28/04/2023
Received 11/03/2023	Accepted in revised 06/04/2023	Accepted 28/04/2023

Расширение ассортимента мучных кондитерских изделий для специализированного питания

Светлана Н. ТEFIKOVA	1	teffikova@mail.ru	 0000-0001-9086-0781
Дарья А. ВЕЛИНА	1	velina.da@rea.ru	 0000-0002-2398-3375
Ольга А. ОРЛОВЦЕВА	1	orlovitseva.aa@rea.ru	 0000-0002-3796-1679
Мария В. КЛОКОНОС	2	m.klokonos@mgutm.ru	 0000-0001-9752-9151
Марина В. МАНУКОВСКАЯ	3	manukowskaj@mail.ru	 0000-0001-8691-6308
Дмитрий Б. МАЛАМУД	2	d.malamud@mgutm.ru	 0000-0002-8161-8675
Игорь А. НИКИТИН	1	nikito.igor@gmail.com	 0000-0002-8988-5911

1 Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Стремянный пер., 36, г. Москва, 115054, Россия

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

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

Аннотация. В настоящее время ассортимент мучных кондитерских изделий для кормящих женщин не велик, хотя эта группа населения нуждается в специализированных продуктах питания. Цель работы - разработка функционального сахарного печенья с использованием нетрадиционных видов муки для питания кормящих женщин. Объектом изучения являлось традиционное сахарное печенье. Было решено улучшить биологическую и пищевую ценность с помощью добавления в рецептуру нетрадиционных сортов муки. Мука из семян тыквы и соевая мука богаты незаменимыми аминокислотами и минеральными веществами. Были выпечены экспериментальные образцы с различной дозировкой тыквенной и соевой муки в составе. Методом органолептической дегустации для дальнейших исследований был выбран образец с соотношением пшеничной, соевой и тыквенной муки соответственно 70:20:10. Для улучшения вкусоароматических характеристик продукта было решено добавить жидкий экстракт жареного цикория. При употреблении 100 г сахарного печенья покрываются суточные потребности в энергии на 15%. Потребности в углеводах покрываются на 10%, в жирах – на 25%, а в белках – на 12%. В печенье содержится большое количество витамина Е и витамина К – 22% и 25% от суточной нормы соответственно. Микроэлементы также содержатся в достаточном количестве: меди 34%, марганца 29%, магния 20%, фосфора 19%. Коэффициент биологической ценности белков выше, чем у традиционного сахарного печенья. Биологическая эффективность липидов отличается достаточно высокими показателями. Показатели для ПНЖК высокие, однако, скор по НЖК и олеиновой кислоте близок к «идеальному липиду».

Ключевые слова: сахарное печенье, пищевая ценность, соевая мука, тыквенная мука, лактация.

Expanding the range of flour confectionery products for specialized nutrition

Svetlana N. TEFIKOVA	1	teffikova@mail.ru	 0000-0001-9086-0781
Daria A. VELINA	1	velina.da@rea.ru	 0000-0002-2398-3375
Olga A. ORLOVITSEVA	1	orlovitseva.aa@rea.ru	 0000-0002-3796-1679
Maria V. KLOKONOS	2	m.klokonos@mgutm.ru	 0000-0001-9752-9151
Marina V. MANUKOVSKAYA	3	manukowskaj@mail.ru	 0000-0001-8691-6308
Dmitry B. MALAMUD	2	d.malamud@mgutm.ru	 0000-0002-8161-8675
Igor A. NIKITIN	1	nikito.igor@gmail.com	 0000-0002-8988-5911

1 Plekhanov Russian Economic University, Stremyanny per., 36, Moscow, 115054, Russia

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

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

Abstract. Currently, the range of flour confectionery products for nursing women is not large, although this group of the population needs specialized food products. The aim of the work is to develop a functional sugar cookie using non-traditional types of flour for feeding nursing women. The object of study was a traditional sugar cookie. It was decided to improve the biological and nutritional value by adding non-traditional varieties to the recipe. Pumpkin seed flour and soy flour are rich in essential amino acids and minerals. Experimental samples were baked with different dosages of pumpkin and soy flour in the composition. By the method of organoleptic tasting, a sample with a ratio of wheat, soy and pumpkin flour, respectively, 70:20:10, was selected for further research. To improve the flavor characteristics of the product, it was decided to add a liquid extract of roasted chicory. When using 100 g of sugar cookies, the daily energy needs are covered by 15%. The needs for carbohydrates are covered by 10%, in fats by 25%, and in proteins by 12%. Cookies contain a large amount of vitamin E 22% and vitamin K 25% of the daily value. Trace elements are also contained in sufficient quantities: 34% copper, 29% manganese, 20% magnesium, 19% phosphorus. The coefficient of biological value of proteins is higher than that of traditional sugar cookies. The biological efficiency of lipids is quite high. The indicators for PUFA are high, however, the score for NLC and oleic acid is close to the "ideal lipid".

Keywords: sugar cookies, nutritional value, soy flour, pumpkin flour, lactation.

Для цитирования

ТEFIKOVA C.H., ВЕЛИНА Д.А., ОРЛОВЦЕВА О.А., КЛОКОНОС М.В., МАНУКОВСКАЯ М.В., МАЛАМУД Д.Б., НИКИТИН И.А. Расширение ассортимента мучных кондитерских изделий для специализированного питания // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 2. С. 59–65. doi:10.20914/2310-1202-2023-2-59-65

For citation

Tefikova S.N., Velina D.A., Orlovitseva O.A., Klokonos M.V., Manukovskaya M.V., Malamud D.B., Nikitin I.A. Expanding the range of flour confectionery products for specialized nutrition. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 2. pp. 59–65. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-2-59-65

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

Введение

Сейчас в России наблюдается демографический кризис и естественная убыль населения, которая отчасти перекрывается потоком приезжих. Но даже так аналитики заявляют, что к 2026 году этот показатель выйдет на стабильную убыль. Именно поэтому государство разрабатывает все новые программы, которые направлены на создание мотивации молодых семей к рождению детей. Государство в свою очередь продолжает развивать систему здравоохранения и поддерживать научные исследования, направленные на создание функциональных и специализированных продуктов питания. Быстрыми темпами развивается новый рынок Фуднет, одним из аспектов которого является система персонализированного питания. А за системой персонализированного питания стоит принцип того, что многие наследственные болезни, а также склонности к некоторым заболеваниям возможно купировать на ранней, часто бессимптомной стадии, при помощи подобранного рациона питания и функциональных продуктов. Таким образом, будут актуальными разработки в области создания функциональных продуктов для такой группы населения как беременные и кормящие женщины.

Объектом исследования является проблема нехватки функциональных продуктов питания для обогащения ими рациона кормящих женщин. Данная группа потребителей нуждается в повышенном количестве макро- и микронутриентов, а также минеральных веществ, которые смогут покрыть возросшие потребности организма. Специально для таких целей создаются продукты питания, которые несут в себе пользу функциональных ингредиентов, входящих в состав изделия, а также имеют натуральный состав. Таким образом, предметом исследования является разработка функционального печенья для питания кормящих женщин.

Проблематикой является создание такого функционального продукта, который смог бы удовлетворить часть потребностей в питательных веществах, но при этом быть рекомендованным для питания кормящих женщин. Так как у женщин в период лактации значительно повышается потребность в энергии и пищевых веществах, возможно рекомендовать мучные кондитерские изделия как дополнение к основному приему пищи или, в сочетании с напитком, как отдельный перекус. В мучном кондитерском изделии возможно повысить питательную ценность за счет замены части пшеничной муки на нетрадиционные виды, которые богаты необходимыми веществами.

Питание женщин в период лактации должно включать в себя 3 основных приема пищи и 1–2 перекуса. Поэтому в качестве продукта для обогащения было выбрано сахарное печенье. Печенье порционно и его удобно потреблять вне дома. Благодаря высокой энергетической ценности печенье дает заряд энергии, а также обеспечивает организм легкоусвояемыми углеводами. Для увеличения пищевой ценности было решено вносить в рецептуру соевую и тыквенную муку. Таким образом, будет возможно получить сахарное печенье повышенной пищевой ценности для питания кормящих женщин.

Цель работы – разработка функционального сахарного печенья с использованием нетрадиционных видов муки для питания кормящих женщин.

Материалы и методы

При проведении исследования было анализировано сырье, произведены пробные выпечки сахарного печенья с использованием нетрадиционных видов муки.

Для разработки рецептуры сахарного печенья с использованием нетрадиционных видов муки для питания кормящих женщин взята рецептура сахарного печенья «Весна».

В соответствии с технологией из сухих компонентов была приготовлена рецептурная смесь, а из жидких компонентов – эмульсия. После добавления эмульсии в рецептурную смесь было замешано тесто в течение 3–5 минут. Толщина пласта 3–4 мм. С помощью металлических вырубок круглой формы диаметром 6 см сформировано печенье. Заготовки переложены на противень и отправлены на выпечку при температуре 220°C 10–20 мин. После приготовления печенье было переложено на плоскую поверхность до полного остывания.

Для приготовления экспериментальных образцов применяли классическую технологию с внесением разного количества нетрадиционных видов муки.

Результаты и обсуждение

Для определения оптимального по органолептическим и физико-химическим показателям качества соотношения пшеничной, соевой и тыквенной муки были проведены пробные лабораторные выпечки экспериментальных образцов 1–4 (таблица 1).

Внешний вид выпеченных образцов представлен на рисунке 1.

Органолептические показатели выпеченных лабораторных образцов 1–4 представлены в таблице 2.

Определение физико-химических показателей проводилось по показателям ГОСТ. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 1.

Соотношение разных видов муки в экспериментальных образцах

Table 1.

The ratio of different types of flour in experimental samples

Образец Sample	Содержание пшеничной муки, % Wheat flour content, %	Содержание соевой муки, % Soy flour content, %	Содержание тыквенной муки, % Pumpkin Flour Content, %
Контроль Control	100	0	0
2	70	20	10
3	50	30	20
4	60	10	30

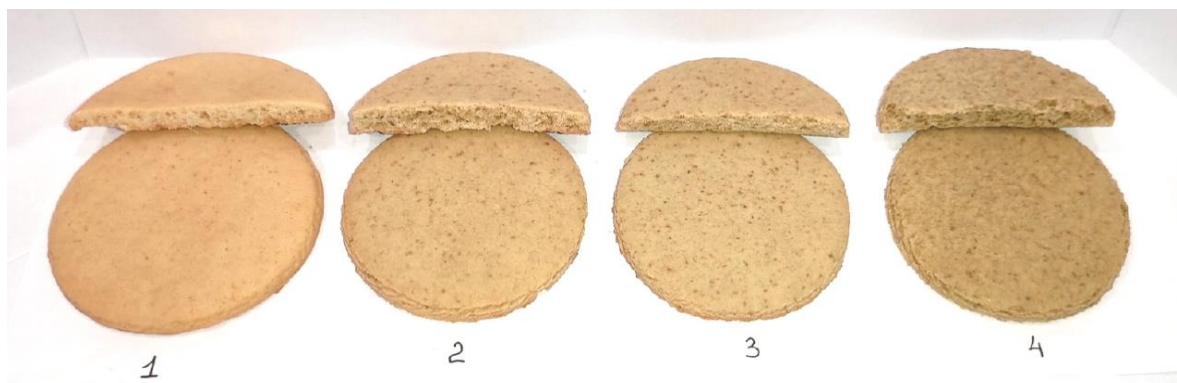


Рисунок 1. Внешний вид экспериментальных образцов

Figure 1. Appearance of experimental samples

Таблица 2.

Органолептические показатели образцов

Table 2.

Organoleptic indicators of samples

Показатель Indicator	Образец / Sample			
	1	2	3	4
Вкус и запах Taste and smell	Выраженные, свойственные сахарному печенью из пшеничной муки Pronounced, characteristic of sugar liver made of wheat flour	Легкий запах бобовых, легкий вкус тыквенной муки light smell of legumes, a light taste of pumpkin flour	Ярко выраженный запах бобовых, вкус соевой муки Pronounced smell of legumes, taste of soy flour	Ярко выраженный запах бобовых, ярко выраженный вкус тыквенных семечек Pronounced smell of legumes, pronounced taste of pumpkin seeds
Форма Form	Плоская, без вмятин, вздутий и повреждений края Flat, without dents, swellings and damage to the edge			
Поверхность Surface	Гладкая Smooth			
Цвет Colour	Равномерный, желтовато-коричневый Uniform, yellowish-brown	Равномерный, светло-коричневый, с темно-коричневыми вкраплениями Uniform, light brown, with dark brown inclusions		Равномерный, коричневатозеленый, с темно-коричневыми вкраплениями Uniform, light brown, with dark brown inclusions
Вид в изломе View in the break	Пропеченное печенье с равномерной пористой структурой, без пустот и следов непромеса Baked cookies with a uniform porous structure, without voids and traces of non-kneading		Пропеченное печенье с неравномерной пористостью, структура нарушена Baked cookies with uneven porosity, the structure is broken	Пропеченное печенье с равномерной пористой структурой, без пустот и следов непромеса Baked cookies with a uniform porous structure, without voids and traces of non-kneading

Таблица 3.

Физико-химические показатели экспериментальных образцов

Table 3.

Physical and chemical parameters of samples

Показатель Indicator	ГОСТ 24901-2014	Образец / Sample			
		1	2	3	4
Массовая доля влаги, % Mass fraction of moisture, %	<10,0	5,5	5,2	4,1	4,3
Массовая доля общего сахара (по сахарозе), % Mass fraction of total sugar (by sucrose), %	<35,0	18	18	18	18
Массовая доля жира, % Mass fraction of fat, %	<30,0	24	26	25	27
Щелочность, град. Alkalinity, deg.	<2,0	1,2	1,4	1,5	1,5
Намокаемость, % Wetness, %	<180	220	186	123	138

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что выпеченный лабораторный образец № 2 показал лучшие результаты по физико-химическим показателям. Для проведения дальнейших исследований был выбран образец № 2.

При разработке продукта для здорового питания главным показателем пользы является пищевая ценность изделия. Однако не следует забывать об органолептических показателях, которые формируют потребительские характеристики продукта. Хорошие потребительские характеристики – это привлекательный внешний вид, приятный запах, а также хороший вкус продукта.

Образец № 2, приготовленный с пшеничной, соевой и тыквенной мукой в соотношении 70/20/10 соответственно, обладал невысокими органолептическими показателями из-за специфического вкуса и запаха.

С целью улучшения органолептических показателей продукта были проведены экспериментальные выпечки печенья с добавлением различных сухофруктов (чернослив, курага, сушеные яблоки), темного шоколада, экстракта цикория и порошка зеленого чая матча (рисунок 2).

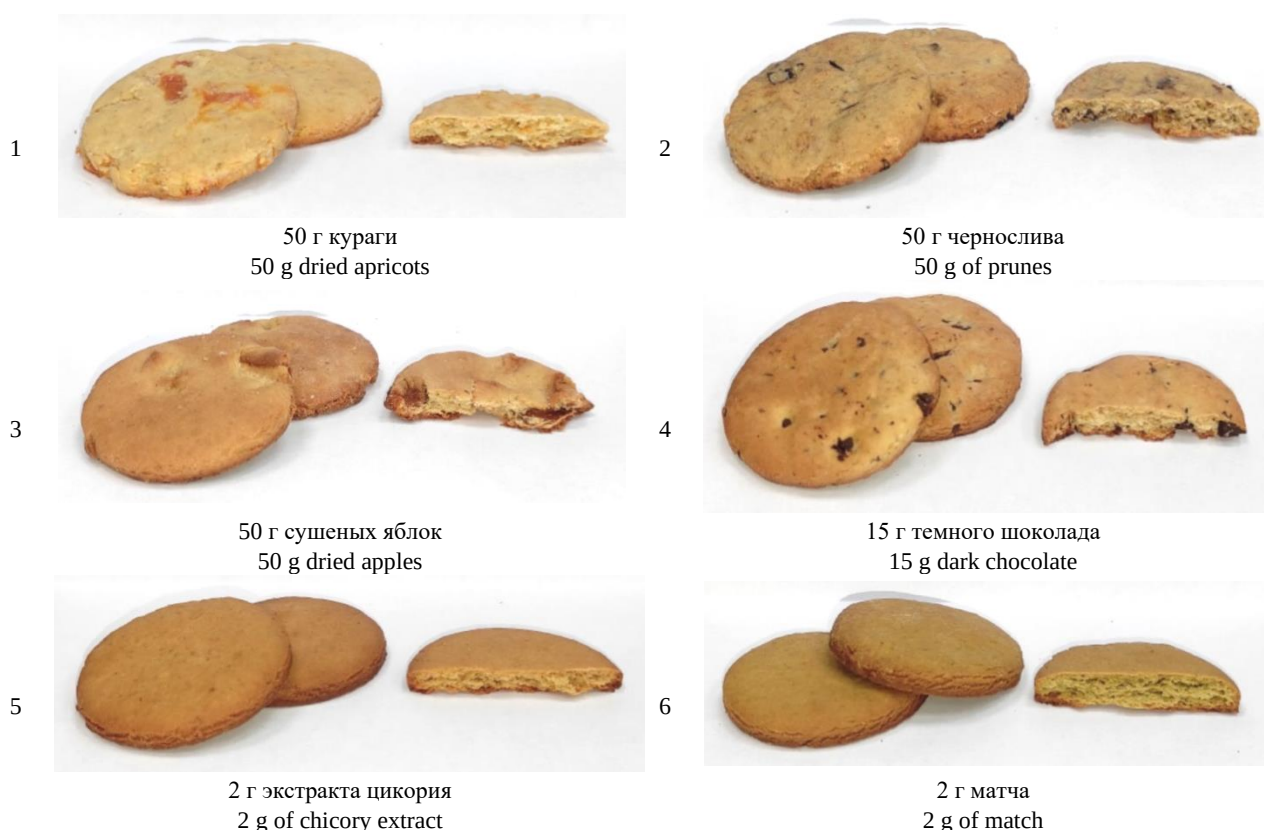


Рисунок 2. Внешний вид экспериментальных образцов печенья с вкусовыми добавками

Figure 2. Appearance of experimental samples of flavored cookies

Для определения образца с лучшими потребительскими характеристиками была проведена дегустация, в которой приняли участие 20 человек. В ходе дегустации участникам было предложено оценить следующие органолептические показатели образцов: вкус, запах, форма, поверхность, цвет, вид в изломе. Участникам было необходимо оценить каждый критерий по шкале от 1 до 5 баллов, где 1 балл «неудовлетворительно», 2 балла – «плохо», 3 балла – «удовлетворительно», 4 балла – «хорошо», 5 баллов – «отлично». Каждый образец в сумме может набрать максимальное количество баллов равное 30. Результаты дегустации представлены ниже.

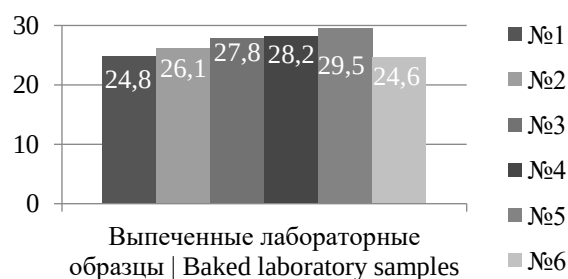


Рисунок 3. Баллы, набранные экспериментальными образцами в ходе дегустации

Figure 3. Points scored by experimental samples during the tasting

Образцы № 1 и 2 получили самые низкие оценки из-за неровной поверхности и нечетких краев. Образец № 3 обладал приятным яблочным вкусом и запахом, но структура была несвойственна сахарному печенью. Образец № 6 имел насыщенный зеленый цвет при замесе теста, но после выпечки приобрел неприятный темно-зеленый оттенок, что ухудшило его потребительские свойства. Образцы № 4 и 5 участники дегустации оценили выше всех, так как они обладают привлекательным внешним видом и сбалансированными вкусовыми характеристиками. Наибольшее количество баллов набрал образец № 5 (с добавлением экстракта цикория) благодаря свойственной сахарному печенью структуре и ровной, гладкой поверхности. Таким образом, в результате пробных выпечек и дегустации полученных образцов, было решено в качестве вкусовой добавки применять экстракт цикория.

Была проведена окончательная экспертная дегустация, в которой контрольный образец

сравнивался с опытным образцом сахарного печенья с добавлением соевой и тыквенной муки с применением экстракта цикория. Внешний вид образцов представлен на рисунке 4.

Экспертам было предложено оценить пять показателей качества по пятибалльной шкале. Результаты дегустации представлены в таблице 4.

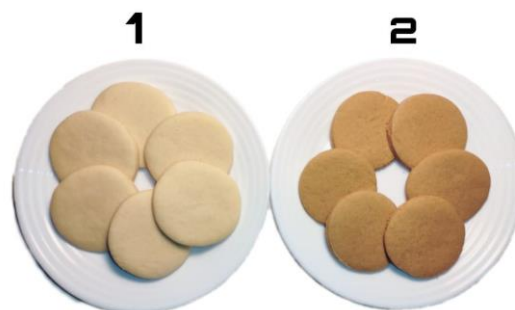


Рисунок 4. Внешний вид контрольного (1) и опытного (2) образца

Figure 4. Appearance of control (1) and experimental (2) samples

Таблица 4.

Table 4.

Результаты экспертной дегустации

Expert tasting results

Образец Sample	Сумма баллов по каждому из показателей The sum of points for each of the indicators					Среднее значение баллов Average score
	Внешний вид Appearance	Цвет Color	Вкус Taste	Запах Smell	Консистенция Consistency	
Контрольный Control	4,6	4,4	4,4	4,6	4,4	4,48
Опытный Experimental	4,8	5	4,6	4,8	4,8	4,8

Опытный образец получил большее количество баллов, чем контрольный образец по классической рецептуре.

По результатам проведенных исследований была составлена рецептура сахарного печенья «Cookies for moms» с содержанием 20% соевой муки и 10% тыквенной муки, содержащего в своем составе жидкий экстракт жареного цикория в количестве 1%.

Производство сахарного печенья может осуществляться на механизированных линиях с периодическим замесом или на поточно-механизированных линиях с непрерывным замесом теста.

При употреблении 100 г сахарного печенья покрываются суточные потребности в энергии на 15%. Потребности в углеводах покрываются на 10%, в жирах на 25%, а в белках на 12%.

В печенье содержится большое количество витамина Е (22%) и витамина К (25%) от суточной нормы. Микроэлементы содержатся также в достаточном количестве: 34% меди, 29% марганца, 20% магния, 19% фосфора. Коэффициент биологической ценности белков выше, чем у традиционного сахарного печенья. Биологическая эффективность липидов отличается достаточно высокими показателями. Показатели для ПНЖК высокие, однако, скор по НЖК и олеиновой кислоте близок к «идеальному липиду».

Таким образом, можно сказать, что разработанное сахарное печенье с использованием нетрадиционных видов муки для питания кормящих женщин обладает хорошими физико-химическими и органолептическими показателями, имеет высокие потребительские характеристики и высокую пищевую ценность.

Литература

- 1 Кунакова Р.В., Зайнуллин Р.А., Хуснутдинова Э.К., Ялаев Б.И. и др. Здоровое питание XXI века: функциональные продукты питания и нутригеномика // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2016. Т. 21. №. 3 (83). С. 5-14.
- 2 Джей Дж.М. Современная пищевая микробиология. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2017. 599 с.
- 3 Сборник рецептов для кондитера. М.: Феникс, 2016. 320 с.
- 4 Иванова А.В., Михеева И.В. Микробиология в профессиональной деятельности кондитера // Качество образования-стратегия XXI века. 2019. С. 299-307.

- 5 Садриддинова Х. Физиологическая потребность в энергии и пищевых веществах // Экономика и социум. 2022. № 3-1 (94). С. 465-468.
- 6 Мартинчик А.Н., Батурин А.К., Кешабянц Э.Э., Фатьянова Л.Н. и др. Анализ фактического питания детей и подростков России в возрасте от 3 до 19 лет // Вопросы питания. 2017. Т. 86. № 4. С. 50-60. doi: 10.24411/0042-8833-2017-00059
- 7 Nikitina M.A., Nikitin I.A., Semenkin N.G., Zavalishin I.V. et al. Application of the hierarchy analysis method at the foodstuffs quality evaluation // International Journal of Advanced Computer Science and Applications. 2018. V. 9. № 5. P. 51-59. doi: 10.14569/ijacsa.2018.090507
- 8 Никитин И.А., Клоконос М.В., Гончарова А.С. Разработка теоретических подходов к созданию индивидуального управляемого рациона на основе методов персонализированного питания // Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции: сборник статей по материалам IV научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. 2018. С. 413-420.
- 9 Appendino G., Jakupovic J., Belloro E., Marchesini A. Multiflorane triterpenoid esters from pumpkin. An unexpected extrafoliar source of PABA // Phytochemistry. 1999. V. 51. № 8. P. 1021-1026. doi: 10.1016/S0031-9422(98)00748-1
- 10 Ostermann A.I., Müller M., Willenberg I., Schebb N.H. Determining the fatty acid composition in plasma and tissues as fatty acid methyl esters using gas chromatography—a comparison of different derivatization and extraction procedures // Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids. 2014. V. 91. № 6. P. 235-241. doi: 10.1016/j.plefa.2014.10.002
- 11 Cai T., Li Q., Yan H., Li N. Study on the hypoglycemic action of pumpkin seed protein // Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology. 2003. V. 3. P. 7-11. doi: 10.1080/10408398.2011.635816
- 12 Ching L.S., Mohamed S. Alpha-tocopherol content in 62 edible tropical plants // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2001. V. 49. P. 3101-3105. doi: 10.1021/jf000891u
- 13 Cox S., Buontempo P.J., Wright-Minogue J., De Martino J.L. et al. Antipicornavirus activity of SCH 47802 and analogs in vitro and in vivo studies // Antiviral Research. 1996. V. 32. P. 71-79. doi: 10.1128/aac.28.6.745
- 14 Fu C., Huan S., Li Q. A review on pharmacological activities and utilization technologies of pumpkin // Plant Foods for Human Nutrition. 2006. V. 61. P. 73-80. doi: 10.1007/s11130-006-0016-6
- 15 Fujita M., Hossain M.Z. Brownish acidic protein induced in pumpkin callus by a high concentration of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid // Biologia Plantarum. 2003. V. 46. P. 175-179. doi: 10.1023/A:1017910018880
- 16 Исаков А.Р., Шукеев А.К. Исследование белков семян льна как полноценных и необходимых для здоровья человека // ББК 40 А 43. 2015. С. 53.
- 17 Бекузарова С.А., Волох Е.Ю., Дзодзиева Э.С., Истригова Т.А. Разработка технологии пшеничного хлеба с использованием бобовых культур // Проблемы развития АПК региона. 2016. Т. 27. № 3. С. 124-128.
- 18 Милорадова Е.В. и др. Исследование биохимических характеристик продуктов ферментативного гидролиза соевой муки // Вестник МИТХТ. 2009. № 2. Т. 4. С. 89-94.
- 19 Дремучева Г.Ф., Шлеленко Л.А., Ильин И.С. Применение соевых продуктов при интенсивной технологии пшеничного хлеба // Хлебопечение России. 2000. № 4. С. 23-25.
- 20 ГОСТ 3898-56. Мука соевая дезодорированная. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2006. 4 с.

References

- 1 Kunakova R.V., Zainullin R.A., Khusnutdinova E.K., Yalaev B.I. and others. Healthy nutrition of the XXI century: functional foods and nutrigenomics. Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan. 2016. vol. 21. no. 3 (83). pp. 5-14. (in Russian).
- 2 Jay J.M. Modern food microbiology. M., Binom. Knowledge Laboratory, 2017. 599 p. (in Russian).
- 3 Collection of recipes for the confectioner. M., Phoenix, 2016. 320 p. (in Russian).
- 4 Ivanova A.V., Mikheeva I.V. Microbiology in the professional activity of a confectioner. Quality of education - strategy of the XXI century. 2019. pp. 299-307. (in Russian).
- 5 Sadriiddinova H. Physiological need for energy and nutritional substances. Economics and society. 2022. no. 3-1 (94). pp. 465-468. (in Russian).
- 6 Martinchik A.N., Baturin A.K., Keshabyants E.E., Fatyanova L.N. et al. Analysis of the actual nutrition of children and adolescents in Russia aged 3 to 19 years. Questions of nutrition. 2017. vol. 86. no. 4. pp. 50-60. doi: 10.24411/0042-8833-2017-00059 (in Russian).
- 7 Nikitina M.A., Nikitin I.A., Semenkin N.G., Zavalishin I.V. et al. Application of the hierarchy analysis method at the foodstuffs quality evaluation. International Journal of Advanced Computer Science and Applications. 2018. vol. 9. no. 5. pp. 51-59. doi: 10.14569/ijacsa.2018.090507
- 8 Nikitin I.A., Klokonos M.V., Goncharova A.S. Development of theoretical approaches to creating an individual controlled diet based on personalized nutrition methods. Modern aspects of production and processing of agricultural products: collection of articles based on the materials of the IV scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists. 2018. pp. 413-420. (in Russian).
- 9 Appendino G., Jakupovic J., Belloro E., Marchesini A. Multiflorane triterpenoid esters from pumpkin. An unexpected extrafoliar source of PABA. Phytochemistry. 1999. vol. 51. no. 8. pp. 1021-1026. doi: 10.1016/S0031-9422(98)00748-1
- 10 Ostermann A.I., Müller M., Willenberg I., Schebb N.H. Determining the fatty acid composition in plasma and tissues as fatty acid methyl esters using gas chromatography—a comparison of different derivatization and extraction procedures. Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids. 2014. vol. 91. no. 6. pp. 235-241. doi: 10.1016/j.plefa.2014.10.002
- 11 Cai T., Li Q., Yan H., Li N. Study on the hypoglycemic action of pumpkin seed protein. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology. 2003. vol. 3. pp. 7-11. doi: 10.1080/10408398.2011.635816
- 12 Ching L.S., Mohamed S. Alpha-tocopherol content in 62 edible tropical plants. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2001. vol. 49. pp. 3101-3105. doi: 10.1021/jf000891u
- 13 Cox S., Buontempo P.J., Wright-Minogue J., De Martino J.L. et al. Antipicornavirus activity of SCH 47802 and analogs in vitro and in vivo studies. Antiviral Research. 1996. vol. 32. pp. 71-79. doi: 10.1128/aac.28.6.745

- 14 Fu C., Huan S., Li Q. A review on pharmacological activities and utilization technologies of pumpkin. Plant Foods for Human Nutrition. 2006. vol. 61. pp. 73-80. doi: 10.1007/s11130-006-0016-6
- 15 Fujita M., Hossain M.Z. Brownish acidic protein induced in pumpkin callus by a high concentration of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid. Biologia Plantarum. 2003. vol. 46. pp. 175-179. doi: 10.1023/A:1017910018880
- 16 Iskakov A.R., Shukoyev A.K. Study of flax seed proteins as complete and necessary for human health. BBK 40 A 43. 2015. P. 53. (in Russian).
- 17 Bekuzarova S.A., Volokh E.Yu., Dzodziewa E.S., Isrigova T.A. Development of wheat bread technology using legumes. Problems of development of the regional agro-industrial complex. 2016. vol. 27. no. 3. pp. 124-128. (in Russian).
- 18 Miloradova E.V. et al. Study of the biochemical characteristics of the products of enzymatic hydrolysis of soy flour. Bulletin of MITHT. 2009. no. 2. vol. 4. pp. 89-94. (in Russian).
- 19 Dremucheva G.F., Shlelenko L.A., Ilyin I.S. Application of soy products in intensive technology of wheat bread. Bakery of Russia. 2000. no. 4. p. 23-25.
- 20 GOST 3898-56. Deodorized soy flour. Technical conditions. M., Standartinform, 2006. 4 p. (in Russian).

Сведения об авторах

Светлана Н. Тетикова к.т.н, доцент, кафедра пищевых технологий и биоинженерии, Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Стремянный пер., 36, г. Москва, 115054, Россия, tetikova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9086-0781>

Дарья А. Велина младший научный сотрудник, кафедра пищевых технологий и биоинженерии, Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Стремянный пер., 36, г. Москва, 115054, Россия, velina.da@rea.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2398-3375>

Ольга А. Орловцева к.т.н, доцент, кафедра пищевых технологий и биоинженерии, Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Стремянный пер., 36, г. Москва, 115054, Россия, orlovseva.aa@rea.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3796-1679>

Мария В. Клоконос к.т.н, доцент, кафедра биотехнологий пищевых продуктов из растительного и животного сырья, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского, ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, m.klokonos@mgut.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9752-9151>

Марина В. Мануковская к.т.н, доцент, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, д.19, г. Воронеж, 394036, Россия, manukowskaj@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8691-6308>

Дмитрий Б. Маламуд д.э.н, 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, d.malamud@mgut.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8161-8675>

Игорь А. Никитин д.т.н, зав. кафедрой, кафедра пищевых технологий и биоинженерии, Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Стремянный пер., 36, г. Москва, 115054, Россия, nikito.igor@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-8988-5911>

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 N. Tetikova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, food technology and bioengineering department, Plekhanov Russian Economic University, Stremyanny per., 36, Moscow, 115054, Russia, tetikova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9086-0781>

Daria A. Velina junior researcher, food technology and bioengineering department, Plekhanov Russian Economic University, Stremyanny per., 36, Moscow, 115054, Russia, velina.da@rea.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2398-3375>

Olga A. Orlovseva Cand. Sci. (Engin.), associate professor, food technology and bioengineering department, Plekhanov Russian Economic University, Stremyanny per., 36, Moscow, 115054, Russia, orlovseva.aa@rea.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3796-1679>

Maria V. Klokonos Cand. Sci. (Engin.), associate professor, biotechnology of food products from plant and animal raw materials department, K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management, Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia, m.klokonos@mgut.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9752-9151>

Marina V. Manukovskaya Cand. Sci. (Engin.), associate professor, service and restaurant business department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, manukowskaj@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8691-6308>

Dmitry B. Malamud Dr. Sci. (Econ.), digital nutrition, hotel and restaurant services department, K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management, Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia, d.malamud@mgut.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8161-8675>

Igor A. Nikitin Dr. Sci. (Engin.), professor, head of food technology and bioengineering department, Plekhanov Russian Economic University, Stremyanny per., 36, Moscow, 115054, Russia, nikito.igor@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-8988-5911>

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 10/04/2023	После редакции 28/04/2023	Принята в печать 15/05/2023
Received 10/04/2023	Accepted in revised 28/04/2023	Accepted 15/05/2023

Повышение пищевой ценности рулета бисквитного

Елена И. Пономарева ¹	elena6815@yandex.ru	 0000-0023-2310-2838
Светлана И. Лукина ¹	lukina.si@yandex.ru	 0000-0003-4393-2046
Надежда Н. Алехина ¹	nadinat@yandex.ru	 0000-0002-3317-9858
Алина Э. Григорян ¹	alya.grigoryan.99@bk.ru	 0000-0009-1947-0903

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

Аннотация. В настоящее время в технологии мучных кондитерских изделий актуально использовать нетрадиционные виды сырья растительного происхождения. Поэтому в данной работе в качестве обогатителя в рулете бисквитном применяли шпинат, так как он богат витаминами и минеральными веществами, что повышает пищевую ценность изделия. Цель исследований - определение влияния шпинатного пюре на органолептические показатели, химический состав, пищевую и энергетическую ценность мучного кондитерского изделия. В работе использовали общепринятые методы исследования показателей качества готовых изделий. Химический состав рулета определяли по стандартным методикам. Пищевую и энергетическую ценность кекса, степень покрытия суточной потребности в нутриентах рассчитывали по программе «КОМПЛЕКС», разработанной на кафедре технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств ВГУИТ. Анализ результатов выявил, что опытный образец обладал наилучшими органолептическими характеристиками. Расчет пищевой ценности показал, что употребление 100 г рулета бисквитного за счет его химического состава обеспечит степень удовлетворения суточной нормы потребления в среднем белка на 7,5 %, жира – 20 %, углеводов – 12 %, пищевых волокон – 8,3 %, минеральных веществ – 0,8-41,5 %, витаминов – 5-83,5 %. Таким образом, получен рулет бисквитный повышенной пищевой ценности за счет его обогащения шпинатным пюре, что позволит расширить ассортимент мучных кондитерских изделий.

Ключевые слова: шпинатное пюре, рулет бисквитный, шпинат, органолептические показатели, химический состав, пищевая ценность.

Increasing the nutritional value of the biscuit roll

Elena I. Ponomareva ¹	elena6815@yandex.ru	 0000-0023-2310-2838
Svetlana I. Lukina ¹	lukina.si@yandex.ru	 0000-0003-4393-2046
Nadezhda N. Alekhina ¹	nadinat@yandex.ru	 0000-0002-3317-9858
Alina E. Grigoryan ¹	alya.grigoryan.99@bk.ru	 0000-0009-1947-0903

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

Abstract. Currently, in the technology of flour confectionery products, it is important to use non-traditional types of raw materials of plant origin. Therefore, in this work, spinach was used as an enricher in biscuit roll, since it is rich in vitamins and minerals, which increases the nutritional value of the product. The purpose of the research is to determine the effect of spinach puree on organoleptic characteristics, chemical composition, nutritional and energy value of flour confectionery. We used generally accepted methods for studying the quality indicators of finished products. The chemical composition of the roll was determined by standard methods. The nutritional and energy value of the cake, the degree of coverage of the daily requirement for nutrients was calculated using the «COMPLEX» program developed at the Department of Technology of Bakery, Confectionery, Pasta and Grain Processing VSUET. Analysis of the results revealed that the prototype had the best organoleptic characteristics. The calculation of nutritional value showed that the use of 100 g of biscuit roll due to its chemical composition will ensure the degree of satisfaction of the daily intake of an average of protein by 7.5%, fat - 20%, carbohydrates - 12%, dietary fiber - 8.3%, mineral substances - 0.8-41.5%, vitamins - 5-83.5%. Thus, a biscuit roll of increased nutritional value was obtained due to its enrichment with spinach puree, which will expand the range of flour confectionery products.

Keywords: spinach puree, biscuit roll, spinach, organoleptic characteristics, chemical composition, nutritional value.

Введение

Мучные кондитерские изделия всегда пользовались большим спросом у потребителей, однако потребление в большом количестве высококалорийных десертов, булочек, пирожных и прочих продуктов питания приводит к избыточной массе тела и ряду заболеваний. Для уменьшения калорийности и увеличения полезности необходимо разрабатывать кондитерские изделия с функциональными свойствами [1, 2, 3]. Ценным сырьем для производства продуктов

Для цитирования

Пономарева Е.И., Лукина С.И., Алехина Н.Н., Григорян А.Э. Повышение пищевой ценности рулета бисквитного // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 2. С. 66–71. doi:10.20914/2310-1202-2023-2-66-71

For citation

Ponomareva E.I., Lukina S.I., Alekhina N.N., Grigoryan A.E. Increasing the nutritional value of the biscuit roll. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 2. pp. 66–71. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-2-66-71

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

фенольным антиоксидантам, лютеину и – каротину в своем составе, также помогает сохранить остроту зрения и здоровое состояние кожи, слизистых оболочек, предотвратить онкологическое поражение легких и ротовой полости, благодаря витамину А (469 мкг на 100 г.) и К (0,483 мг на 100 г.) [4]. Химический состав шпината, г.: углеводы – 3,6; белки – 2,9; жиры – 0,4; клетчатка – 2,2. Так же он богат такими витаминами и минералами, как: бэта-каротином – 5626 мкг, витамином В2 – 0,2 мг, витамином В12 – 194 мкг, витамином С – 28,1 мг, витамином Е – 2 мг, калием – 558 мг, кальцием – 99 мг, магнием – 79 мг, железом – 2,7 мг, фосфором – 49 мг, марганцем – 0,9 мг [5]. Поэтому шпинат целесообразно вносить в рецептуры пищевых продуктов, в том числе в мучные кондитерские изделия.

Цель работы – определение влияния шпинатного пюре на органолептические показатели, химический состав, пищевую и энергетическую ценность рулета бисквитного.

Материалы и методы

Рулет бисквитный представляет собой изделие, предусматривающее приготовление бисквитного полуфабриката и начинки, состоящей из ягодного конфитюра и крема. Для изготовления рулета использовали следующее сырье: мука пшеничная высшего сорта (ГОСТ 26574–2017); сахар белый (ГОСТ 33222–2015); меланж (ГОСТ 30363–2013); подсолнечное масло (ГОСТ 1129–2013); ванильный сахар (ГОСТ 16599–71); аммоний углекислый (разрыхлитель), (ГОСТ 32802–2014); смородина черная свежая (ГОСТ 6829–2015); крахмал кукурузный (ГОСТ 32159–2013); творожный сыр (ТУ 10.51.40–017–30326940–2020); сливки животные 33 % (ГОСТ 34355–2017); (сахарная пудра (ГОСТ 33222–2015).

Первоначально готовили бисквитный полуфабрикат. Для этого взбивали меланж и сахар белый до светлой, кремообразной массы, после чего добавляли сухую мучную смесь, состоящую из муки, углекислого аммония и ванильного сахара, затем подсолнечное масло. Дальнейшее смешивание ингредиентов проводили до получения теста однородной консистенции. Затем формировали тесто в виде пласта и выпекали при температуре 170 °С в течение 20–25 мин. Выстойку готовой заготовки осуществляли 15–20 мин при комнатной температуре. Для приготовления крема смешивали творожный сыр, сливки животные 33 % и сахарную пудру. Конфитюр готовили путем уваривания смородины черной свежей с сахаром белым и кукурузным крахмалом.

Следующим этапом было формирование готового изделия. Для этого пласт бисквитного полуфабриката первым слоем промазывали ягодным конфитюром, затем наносили крем, после чего пласт заворачивали в виде рулета с последующим его разрезанием на отдельные пирожные.

Контрольным образцом был рулет бисквитный без обогатителя. В опытный образец добавляли шпинатное пюре, приготовленное из свежего шпината (ГОСТ 34301–2017) в установленной ранее дозировке – 152 г. на 1 кг рулета бисквитного. В готовых изделиях определяли органолептические показатели: форму, поверхность, вид в разрезе, вкус и запах по ГОСТ 14621–78.

Анализ химического состава рулета осуществляли по следующим методикам: содержание белка определяли по ГОСТ 10846–91, водорастворимых углеводов – по ГОСТ Р 51636–2000, жира – по ГОСТ 32905–2014, пищевых волокон – по ГОСТ 31675–2012, витаминный состав (РР, В₁, В₂, В₄, А, К) – по ГОСТ 29140–91, ГОСТ 29138–91, ГОСТ 29139–91, ГОСТ Р 57124–2016, ГОСТ Р 54635–2011, ГОСТ EN 14148–2015 соответственно. Минеральный состав (калий, кальций, кремний, магний, фосфор, железо, бор, железо, йод, медь) исследовали по ГОСТ 32343–2013, ГОСТ 26657–97, ГОСТ 31660–2012.

Пищевую и энергетическую ценность изделий, степень покрытия суточной потребности в нутриентах рассчитывали по программе «КОМПЛЕКС», разработанной на кафедре ТХКМЗП ФГБОУ ВО «ВГУИТ», по методике, утвержденной ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи». Содержание витаминов в рулете бисквитном рассчитывали с учетом коэффициентов сохранности.

Исследования проводили в лабораториях кафедры технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств ФГБОУ ВО «ВГУИТ», испытательном лабораторном центре комбикормов, комбикормового сырья, пищевых продуктов автономной некоммерческой организации «Научно-технический центр «Комбикорм» (г. Воронеж).

Результаты и обсуждение

На первом этапе работы определяли органолептические показатели контрольного и опытного образцов рулета бисквитного (таблица 1).

Органолептические показатели готовых изделий

Table 1.

Organoleptic characteristics of finished products

Показатель Indicator	Характеристика показателей Characteristics of indicators	
	Контроль Control	Опыт Experiment
Форма Shape	Соответствующая данному наименованию изделия без повреждений, с ровным обрезом Corresponding to this product name without damage, with an even edge	Соответствующая данному наименованию изделия без повреждений, с ровным обрезом Corresponding to this product name without damage, with an even edge
Поверхность Surface	Начинка не выходит на поверхность и не выступает за края рулета. Бисквитный полуфабрикат не подгорелый The filling does not come to the surface and does not protrude beyond the edges of the roll. Biscuit semi-finished product is not burnt	Начинка не выходит на поверхность и не выступает за края рулета. Бисквитный полуфабрикат не подгорелый, имеет ярко-зеленый цвет The filling does not come to the surface and does not protrude beyond the edges of the roll. The biscuit semi-finished product is not burnt, has a bright green color
Вид в разрезе Split view	Свернутый спиралью некрошащийся полуфабрикат, равномерный по толщине, хорошо пропеченный, с развитой пористостью, без закала и следов непромеса, равномерно прослоенный начинкой Coiled, non-crumbling semi-finished product, uniform in thickness, well baked, with developed porosity, without hardening and traces of unmixed, evenly layered with filling	Свернутый спиралью некрошащийся полуфабрикат, равномерный по толщине, хорошо пропеченный, с развитой пористостью, без закала и следов непромеса, равномерно прослоенный начинкой. За счет внесения шпинатного пюре в бисквитный полуфабрикат в сочетании с кремом и конфитюром разрез имеет яркий, привлекательный вид Coiled non-crumbling semi-finished product, uniform in thickness, well baked, with developed porosity, without hardening and traces of non-kneading, evenly layered with filling. Due to the introduction of spinach puree into a biscuit semi-finished product in combination with cream and jam, the cut has a bright, attractive appearance
Вкус и запах Taste and smell	Соответствующие данному наименованию изделия без посторонних запахов и вкуса. Имеет кисло-сладкий вкус за счет ягодного конфитюра. Не имеет салостого или прогорклого привкуса The products corresponding to this name are odorless and tasteless. It has a sweet and sour taste due to berry jam. Does not have a salty or rancid taste	Соответствующие данному наименованию изделия без посторонних запахов и вкуса. Имеет кисло-сладкий вкус за счет ягодного конфитюра, а также приятный вкус и запах шпината. Не имеет салостого или прогорклого привкуса The products corresponding to this name are odorless and tasteless. It has a sweet and sour taste due to berry jam, as well as a pleasant taste and smell of spinach. Does not have a salty or rancid taste

Анализ результатов показал, что бисквитный полуфабрикат рулета опытного образца характеризовался ярким зеленоватым цветом, а в сочетании с кремом и с конфитюром изделие получилось привлекательного вида, по сравнению с контролем с приятным и нежным вкусом. При внесении шпинатного пюре в дозировке 152 г. на 1 кг готового изделия бисквитный полуфабрикат был равномерно пористым и пышным.

На втором этапе исследований определяли содержание белков, жиров, углеводов, витаминов и минеральных веществ в контрольном и опытном образцах. По полученным данным рассчитали энергетическую, пищевую ценность изделий и степень удовлетворения нутриентов за счет употребления рулета бисквитного (таблица 2).

Таблица 1.

Содержание пищевых нутриентов и степень удовлетворения их суточной потребности организма за счет употребления 100 г. изделия

Table 1.

The content of food nutrients and the degree of satisfaction of their daily needs of the body due to the use of 100 g of the product

Вещество Food substances	Физиологическая суточная потребность, г/сут. (TP TC 022/2011) Physiological daily requirement, g/day. (TR CU 022/2011)	Содержание Content		Степень удовлетворения за счет употребления рулета бисквитного Degree of satisfaction due to use biscuit roll	
		Контроль Control	Опыт Experiment	Контроль Control	Опыт Experiment
1	2	3	4	5	6
Белки, г Proteins, g	75	4,5	5,5	3,5	7,35
Жир, г Fat, g	83	16,0	16,3	19,3	20
Углеводы, г Carbohydrates, g	365	41,0	43,0	11,2	12,0
Пищевые волокна, г Dietary fiber, g	30	1,5	2,5	5,0	8,3
Бета-каротин, мг Beta-carotene, mg	5	0,4	1,0	8,0	20

Продолжение таблицы 2 | Continuation of table 2

1	2	3	4	5	6
Витамин PP, мг Vitamin PP, mg	20	0,7	1,0	3,5	5
Витамин B ₁ , мг Vitamin B ₁ , mg	1,4	0,3	0,5	35,7	36,5
Витамин B ₂ , мг Vitamin B ₂ , mg	1,6	0,1	0,2	6,3	12,5
Витамин B ₄ , мг Vitamin B ₄ , mg	500	50,0	58,0	10	11,6
Витамин A, мкг Vitamin A, mcg	800	120	223	15	28
Витамин K, мкг Vitamin K, mcg	90,0	2,0	75	2,2	83,5
Калий, мг Potassium, mg	3500	230	347	6,6	10
Кальций, мг Calcium, mg	1000	50,0	70,0	5,0	7,0
Кремний, мг Silicon, mg	30	-	19,0	-	63
Магний, мг Magnesium, mg	400	13,0	28	3,0	7,0
Фосфор, мг Phosphorus, mg	800	30,0	64,4	4,0	8,0
Бор, мкг Boron, mcg	2000	-	15,5	-	0,8
Железо, мг Iron, mg	14	4,0	5,8	29	41,5
Йод, мкг Iodine, mcg	150	3,0	6,0	2,0	4,0
Медь, мкг Copper, mcg	3000	30,0	37,0	1,0	1,3
Энергетическая ценность, ккал (кДж) Energy value, kcal (kJ)	2500	327(1369)	340 (1424)	13,0	14,0

Выявлено, что в 100 г. рулете бисквитном со шпинатным пюре содержится больше белков на 1 г, жиров на 0,3 г, пищевых волокон на 1 г, минеральных веществ на 0,07–117 мг, витаминов на 0,07–8 мг, чем в рулете бисквитном без обогатителя. Установлено, что употребление 100 г. рулета бисквитного повышенной пищевой ценности обеспечит степень удовлетворения суточной нормы потребления в среднем белка на 7,5 %, жира 20 %, углеводов на 12 %, пищевых волокон – 8,3 %, минеральных веществ – 0,8–41,5 %, витаминов – 5–83,5 %.

Заключение

Таким образом, установлено, что рулет бисквитный, который предусматривает внесение шпинатного пюре в бисквитный полуфабрикат в количестве 152 г. на 1 кг готового изделия,

позволяет повысить пищевую ценность продукта. Помимо того, что изделие является полезным и обладает функциональными свойствами за счет химического состава шпинатного пюре, бисквитный полуфабрикат рулета имеет яркий зеленоватый цвет, а при сочетании с кремом и ягодным конфитюром изделие получается привлекательного вида с нежным и приятным вкусом. Также добавление шпината в рулет бисквитный позволяет расширить ассортимент мучных кондитерских изделий за счет использования нетрадиционного сырья в составе; улучшить органолептические свойства изделий; повысить качество жизни населения за счет положительного влияния шпината на организм человека при употреблении готового изделия.

Литература

- 1 Чубенко Н.Т. Мучные кондитерские изделия в хлебопекарном производстве // Хлебопечение России. 2015. № 1. С. 44.
- 2 Пьяникова Э.А., Ковалева А.Э. Разработка рецептуры и оценка потребительских свойств обогащенных бисквитных полуфабрикатов // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2017. № 3. С. 66–70.
- 3 Казарова И.Г., Закурдаева А.А. Разработка рецептуры кондитерского изделия, обогащенного растительными компонентами // Устойчивое развитие науки и образования. 2018. № 10. С. 233–236.
- 4 Roberts J.L., Moreau R. Functional properties of spinach (*Spinaciaoleracea* L.) phytochemicals and bioactives // Food Funct. 2016. V. 7 № 8. P. 3337–3353.
- 5 Калорийность шпината, его химический состав и пищевая ценность. URL: https://health-diet.ru/base_of_food/sostav/445.php/
- 6 Веретнова О.Ю. Возможности использования нетрадиционного растительного сырья в производстве пищевых продуктов функционального назначения // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2015. № 6. С. 154–158.
- 7 Kaur R., Kaur M. Microstructural, physicochemical, antioxidant, textural and quality characteristics of wheat muffins as influenced by partial replacement with ground flaxseed // LWT – Food Science and Technology. 2018. V. 91. P. 278–285. doi: 10.1016/j.lwt.2018.01.059
- 8 Черненко Е.Н., Жаркова И.М., Гизатова Н.В. Исследование влияния калины обыкновенной на показатели качества мучных кондитерских изделий // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 3. С. 136–141. doi: 10.20914/2310-1202-2022-3-136-141
- 9 Пьяникова Э.А., Ковалева А.Е., Ткачева Е.Д., Овчинникова Е.В. Исследование влияния рецептурных ингредиентов на пищевую ценность бисквитов безглютеновых // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2022. № 1. С. 23–29.

- 10 Кравец Е.В. Разработка технологии приготовления мучных кондитерских изделий с использованием регионального овощного сырья // Актуальные проблемы развития общественного питания и пищевой промышленности: материалы научно-практической и научно-методической конференции. 2018. С. 108–114.
- 11 Гуляева А.Н., Воронина М.С. Разработка методологии повышения пищевой ценности полуфабрикатов для мучных кондитерских изделий // Инновации и продовольственная безопасность. 2020. № 3. С. 7–13. doi: 10.31677/2311-0651-2020-29-3-7-13
- 12 Щетинин М.П., Ходырева З.Ф. Формирование рецептурного состава бисквитного безглютенового полуфабриката // Проектирование и моделирование продуктов питания нового поколения. 2019. № 1. С. 106–115.
- 13 Chiremba C., Taylor J.R.N., Duodu K.G. Phenolic content, antioxidant activity, and consumer acceptability of sorghum cookies // *Cereal Chem.* 2018. V. 86. № 5. P. 590–594.
- 14 Pareyt B., Bruneel Ch., Brijs k., Goesaert H. et al. Flour sodium dodecyl sulfate (SDS) – extractable protein level as a cookie flour quality indicator // *J. Agr. And Food Chem.* 2017. V. 58. № 1. P. 353–60.
- 15 Ozturkoglu-Budak S., Akal C., Yetisemeyen A. Effect of dried nut fortification on functional, physicochemical, textural, and microbiological properties of yogurt // *Journal of Dairy Science.* 2016. V. 99. №. 11. P. 8511–8523. doi: 10.3168/jds.2016-11217
- 16 Nina G.C., Ukeyima. M., Ogori A.F., Hleba L. et al. Investigation of physiochemical and storage conditions on the properties of extracted tiger nut oil from different cultivars // *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences.* 2020. V. 9. № 5. P. 988–993.
- 17 Rascón A.J., Azzouz A., Ballesteros E. Use of semi automated continuous solid phase extraction and gas chromatography-mass spectrometry for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in alcoholic and non alcoholic drinks from Andalucía (Spain) // *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 2019. V. 99. №. 3. V. 1117–1125. doi:10.1002/jsfa.9279
- 18 da Rocha Lemos Mendes G., Souto Rodrigues P., de las Mercedes Salas-Mellado M., Fernandes de Medeiros Burkert J. et al. Defatted rice bran as a potential raw material to improve the nutritional and functional quality of cakes // *Plant Foods for Human Nutrition.* 2021. V. 76. №. 1. P. 46–52. doi: 10.1007/s11130-020-00872-6
- 19 Mudgil D., Barak S., Khatkar B.S. Cookie texture, spread ratio and sensory acceptability of cookies as a function of soluble dietary fiber, baking time and different water levels // *LWT.* 2017. V. 80. P. 537–542. doi: 10.1016/j.lwt.2017.03.009
- 20 Krupa-Kozak U., Drabińska N., Rosell C.M., Piłat B. et al. High-Quality Gluten-Free Sponge Cakes without Sucrose: Inulin-Type Fructans as Sugar Alternatives // *Foods.* 2020. V. 9. №. 12. P. 1735. doi: 10.3390/foods9121735

References

- 1 Chubenko N.T. Flour confectionery products in bakery production. *Bakery of Russia.* 2015. no. 1. pp. 44. (in Russian).
- 2 Pyanikova E.A., Kovaleva A.E. Development of recipes and assessment of consumer properties of enriched biscuit semi-finished products. Technology and merchandising of innovative food products. 2017. no. 3. pp. 66–70. (in Russian).
- 3 Kazarova I.G., Zakurdaeva A.A. Development of a recipe for a confectionery product enriched with plant components. Sustainable development of science and education. 2018. no. 10. pp. 233–236. (in Russian).
- 4 Roberts J.L., Moreau R. Functional properties of spinach (*Spinaciaoleracea* L.) phytochemicals and bioactives. *Food Funct.* 2016. vol. 7. no. 8. pp. 3337–3353.
- 5 Calorie content of spinach, its chemical composition and nutritional value. Available at: https://health-diet.ru/base_of_food/sostav/445.php / (in Russian).
- 6 Veretnova O.Yu. Possibilities of using non-traditional plant raw materials in the production of functional food products. *Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University.* 2015. no. 6. pp. 154–158. (in Russian).
- 7 Kaur R., Kaur M. Microstructural, physicochemical, antioxidant, textural and quality characteristics of wheat muffins as influenced by partial replacement with ground flaxseed. *LWT – Food Science and Technology.* 2018. vol. 91. pp. 278–285. doi: 10.1016/j.lwt.2018.01.059
- 8 Chernenkov E.N., Zharkova I.M., Gizatova N.V. Study of the influence of viburnum on the quality indicators of flour confectionery products. *Proceedings of VSUET.* 2022. vol. 84. no. 3. pp. 136–141. doi: 10.20914/2310-1202-2022-3-136-141 (in Russian).
- 9 Pyanikova E.A., Kovaleva A.E., Tkacheva E.D., Ovchinnikova E.V. Study of the influence of recipe ingredients on the nutritional value of gluten-free biscuits. Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex - healthy food products. 2022. no. 1. pp. 23–29. (in Russian).
- 10 Kravets E.V. Development of technology for preparing flour confectionery products using regional vegetable raw materials. Current problems of development of public catering and food industry: materials of scientific-practical and scientific-methodological conference. 2018. pp. 108–114. (in Russian).
- 11 Gulyaeva A.N., Voronina M.S. Development of a methodology for increasing the nutritional value of semi-finished products for flour confectionery products. *Innovations and food safety.* 2020. no. 3. pp. 7–13. doi: 10.31677/2311-0651-2020-29-3-7-13 (in Russian).
- 12 Shchetin M.P., Khodyreva Z.F. Formation of the recipe composition of a biscuit gluten-free semi-finished product. Design and modeling of new generation food products. 2019. no. 1. pp. 106–115. (in Russian).
- 13 Chiremba C., Taylor J.R.N., Duodu K.G. Phenolic content, antioxidant activity, and consumer acceptability of sorghum cookies. *Cereal Chem.* 2018. vol. 86. no. 5. pp. 590–594.
- 14 Pareyt B., Bruneel Ch., Brijs k., Goesaert H. et al. Flour sodium dodecyl sulfate (SDS) – extractable protein level as a cookie flour quality indicator. *J. Agr. And Food Chem.* 2017. vol. 58. no. 1. pp. 353–60.

15 Ozturkoglu-Budak S., Akal C., Yetisemeyen A. Effect of dried nut fortification on functional, physicochemical, textural, and microbiological properties of yogurt. *Journal of Dairy Science*. 2016. vol. 99. no. 11. pp. 8511–8523. doi: 10.3168/jds.2016–11217

16 Nina G.C., Ukeyima M., Ogori A.F., Hleba L. et al. Investigation of physiochemical and storage conditions on the properties of extracted tiger nut oil from different cultivars. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2020. vol. 9. no. 5. pp. 988–993.

17 Rascón A.J., Azzouz A., Ballesteros E. Use of semi automated continuous solid phase extraction and gas chromatography-mass spectrometry for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in alcoholic and non alcoholic drinks from Andalucía (Spain). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2019. vol. 99. no. 3. vol. 1117–1125. doi:10.1002/jsfa.9279

18 da Rocha Lemos Mendes G., Souto Rodrigues P., de las Mercedes Salas-Mellado M., Fernandes de Medeiros Burkert J. et al. Defatted rice bran as a potential raw material to improve the nutritional and functional quality of cakes. *Plant Foods for Human Nutrition*. 2021. vol. 76. no. 1. pp. 46–52. doi: 10.1007/s11130–020–00872–6

19 Mudgil D., Barak S., Khatkar B.S. Cookie texture, spread ratio and sensory acceptability of cookies as a function of soluble dietary fiber, baking time and different water levels. *LWT*. 2017. vol. 80. pp. 537–542. doi: 10.1016/j.lwt.2017.03.009

20 Krupa-Kozak U., Drabińska N., Rosell C.M., Piłat B. et al. High-Quality Gluten-Free Sponge Cakes without Sucrose: Inulin-Type Fructans as Sugar Alternatives. *Foods*. 2020. vol. 9. no. 12. pp. 1735. doi: 10.3390/foods9121735

Сведения об авторах

Елена И. Пономарева д.т.н., профессор, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, elena6815@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0023-2310-2838>

Светлана И. Лукина к.т.н., доцент, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, lukina.si@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4393-2046>

Надежда Н. Алекина д.т.н., профессор, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, nadinat@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3317-9858>

Алина Э. Григорян магистр, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, alya.grigoryan.99@bk.ru

 <https://orcid.org/0000-0009-1947-0903>

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Elena I. Ponomareva Dr. Sci. (Engin.), professor, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, elena6815@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0023-2310-2838>

Svetlana I. Lukina Cand. Sci. (Engin.), associate professor, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, lukina.si@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4393-2046>

Nadezhda N. Alekhina Dr. Sci. (Engin.), professor, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, nadinat@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3317-9858>

Alina E. Grigoryan master student, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, alya.grigoryan.99@bk.ru

 <https://orcid.org/0000-0009-1947-0903>

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 21/03/2023	После редакции 07/04/2023	Принята в печать 28/04/2023
Received 21/03/2023	Accepted in revised 07/04/2023	Accepted 28/04/2023

Обоснование применения и нормативное регулирование качества рыбных блюд и продуктов, как элемента здорового питания

Ирина В. Малова	¹	mair28@mail.ru	 0000-0001-8314-6678
Анна Т. Васюкова	²	vasyukova-at@ya.ru	 0000-0002-7374-4145
Танзиля Р. Любецкая	²	ltanzilya@yandex.ru	 0000-0002-1078-9311
Александра С. Москаленко	³	sasha19121978@mail.ru	 0000-0001-5681-2217
Евгений Ю. Латышев	⁴	jack77793@mail.ru	 0000-0002-1409-4007

1 Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова (Ивановский филиал), ул. Дзержинского, 53, г. Иваново, 153000, Россия

2 Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), 11, Волоколамское шоссе, 125080, Россия

3 Московский гуманитарно-экономический университет, Ленинский проспект 8 стр., г. Москва, 169049, Россия

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

Аннотация. Представлены результаты исследования вопросов значимости рыбы и рыбных блюд для здорового питания. Рыба является источником жирных кислот омега-3 и омега-6, которые являются строительным материалом для клеток мозга, а также способствуют снижению вредного холестерина в крови. Употребление рыбы помогает в нормализации работы щитовидной железы – все из-за большого содержания йода. Наличие микроэлементов в рыбе позволяет нормализовать обмен веществ в организме человека. Целью разработки новых пищевых продуктов является обоснование применения и нормативное регулирование качества рыбных блюд на основе пищевой и энергетической ценности основного сырья и добавок растительного происхождения. В статье определена классификация рыбы по жирности, в том числе трески, и приведены примеры жирных (от 8% и более содержащих жир), среднежирных (от 4% до 8% жира) и маложирных (не более 4% жира) видов рыб. Представлены расчеты пищевой и энергетической ценности рыбного блюда «Треска под маринадом» и дано сравнение полученных результатов с ценностью блюда из растительных компонентов «Крокеты из макарон с шампиньонами и зеленью». Установлено, что блюда из рыбы по своему пищевому и энергетическому составу менее калорийны и более полноценны, чем блюда из грибов и макаронных изделий, которые по содержанию белка незначительно отличаются от блюда «Треска под маринадом». Однако рыбные блюда содержат все незаменимые аминокислоты, поэтому они больше подходят для диетического питания. В статье также проанализирована нормативная база, регламентирующая качество и безопасность рыбных продуктов в России. Выявлены базовые нормативно-правовые документы, регламентирующие требования к качеству и безопасности блюд из рыбы.

Ключевые слова: рыба, качество, безопасность, пищевая ценность, энергетическая ценность, нормативное регулирование.

Justification of the application and regulatory regulation of the quality of fish dishes and products as a healthy food element

Irina V. Malova	¹	mair28@mail.ru	 0000-0001-8314-6678
Anna T. Vasyukova	²	vasyukova-at@ya.ru	 0000-0002-7374-4145
Tanzilya R. Lubetskaya	²	ltanzilya@yandex.ru	 0000-0002-1078-9311
Alexandra S. Moskalenko	³	sasha19121978@mail.ru	 0000-0001-5681-2217
Evgeny Yu. Latyshev	⁴	jack77793@mail.ru	 0000-0002-1409-4007

1 Russian University of Economics named after G.V. Plekhanov Ivanovo branch, st. Dzerzhinsky, 53, Ivanovo, 153000, Russia

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

3 Moscow University for the Humanities and Economics, Leninsky Prospekt 8 building, Moscow, 169049, Russia

4 Moscow State University of Technology and Management K.G. Razumovsky, st. Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia

Abstract. The results of a study of the importance of fish and fish dishes for a healthy diet are presented. Fish is a source of omega-3 and omega-6 fatty acids, which are a building material for brain cells and also help reduce bad cholesterol in the blood. Eating fish helps in the normalization of the thyroid gland – all because of the high content of iodine. The presence of trace elements in fish allows you to normalize the metabolism in the human body. The purpose of the development of new food products is to justify the use and regulatory regulation of the quality of fish dishes based on the nutritional and energy value of the main raw materials and additives of plant origin. The article defines the classification of fish by fat content, including cod, and gives examples of fatty (from 8% or more containing fat), medium-fat (from 4% to 8% fat) and low-fat (no more than 4% fat) fish species. Calculations of the nutritional and energy value of the fish dish "Marinated Cod" are presented and a comparison of the obtained results with the value of the dish of vegetable components "Croquettes of pasta with champignons and greens" is given. It has been established that fish dishes, in terms of their nutritional and energy composition, are less caloric and more complete than dishes from mushrooms and pasta, which, in terms of protein content, differ slightly from the dish "Cod under the marinade". However, fish dishes contain all the essential amino acids, so they are more suitable for dietary nutrition. The article also analyzes the regulatory framework governing the quality and safety of fish products in Russia. The basic legal documents regulating the requirements for the quality and safety of fish dishes have been identified.

Keywords: fish, quality, safety, nutritional value, energy value, regulation.

Для цитирования

Малова И.В., Васюкова А.Т., Любецкая Т.Р., Москаленко А.С., Латышев Е.Ю. Обоснование применения и нормативное регулирование качества рыбных блюд и продуктов, как элемента здорового питания // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 2. С. 72–79. doi:10.20914/2310-1202-2023-2-72-79

For citation

Malova I.V., Vasyukova A.T., Lyubetskaya T.R., Moskalenko A.S., Latyshev E.Yu. Justification of the application and regulatory regulation of the quality of fish dishes and products as a healthy food element. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 2. pp. 72–79. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-2-72-79

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

Введение

В современном обществе общественное питание имеет важное значение. Оно несет на себе функцию предоставления качественной еды населению, что имеет решающее значение для сохранения здоровья человека и обеспечивает появление новых технологий переработки продуктов питания. Важным является «бережливое производство» [1].

Исследованиями проблемы питания человека занимались и занимаются, как отечественные, так и зарубежные ученые, открывая все более глубокие пласты изучаемой проблемы. Так, например, немецкий ученый Юстус фон Либих, классифицировал пищевые продукты на белки, жиры и углеводы [2]. Он установил, что жиры и углеводы служат для организма источником энергии. Немецкий ученый Карл Фойт был основоположником учения о питании, открыл влияние на метаболизм минеральных веществ и разработал для человека нормы потребности в пищевых веществах, рационы питания и голодания [3]. Профессор И.П. Павлов изучил и выявил процесс деятельности пищеварительной системы [4].

Продукты питания из рыбного сырья позволяют восполнить дефицит нутриентов. Рыба является основным источником ненасыщенных жирных кислот, потребление которых способствует профилактике ожирения и ряда сердечно-сосудистых заболеваний [5, 6]. Потребление рыбных блюд способно восполнить дефицит микро- и макроэлементов, витаминов. Для получения сбалансированных по минеральному комплексу рыбных блюд Куликова А.С. с соавторами спроектировала рецептуры рыбных блюд, в которых акцентировано внимание на продуктах, обогащенных витамином D. Обоснован выбор рыбного сырья и источника витамина D – печени трески [7].

Актуальность выбранной темы очевидна, поскольку здоровое питание способствует укреплению и профилактике здоровья населения, а блюда из рыбы как нельзя лучше подходят для правильного питания, так как обладают высокой пищевой и энергетической ценностью.

Цель работы – разработка новых пищевых продуктов и обоснование применения, нормативное регулирование качества рыбных блюд на основе пищевой и энергетической ценности основного сырья и добавок растительного происхождения.

Материалы и методы

Для написания данной научной статьи были изучены материалы на русском и английском языках таких баз данных как Google Scholar, Web of Science, Elibrary.ru, Google Академия. Поиск был ограничен временным периодом с 2010 до 2022 года, также был задан минимальный порог цитирования – 5. В центре внимания были статьи, опубликованные в научных журналах, для обеспечения точности данных. В работе использованы статистические, экономические, эмпирические методы исследования, в том числе и математические методы обработки данных. Математическую обработку результатов исследований проводили, используя программный пакет Curve Expert Ver. 1.34. Методом подбора компонентов были выявлены перспективные сочетания для обогащения традиционных рецептур растительными компонентами пищи и методом планирования эксперимента созданы модельные структуры.

Органолептическую оценку проводили профильным методом по разработанной системе дескрипторов, которые включают: поверхность, вид на разрезе, вкус, цвет, запах. Пищевую и энергетическую ценность образцов характеризовали расчетным методом по справочным таблицам содержания основных пищевых веществ и энергетической ценности пищевых продуктов. Все анализы проводили не менее чем в трех параллельных опытах.

Результаты и обсуждение

Согласно проведенным исследованиям выявлено, что ключевым фактором, влияющим на состояние здоровья, является качество питания [8, 9]. Оно в среднем на 50–55% определяет состояние организма человека, в то время как другие факторы (уровень медицинского обслуживания, наследственное состояние, окружающая среда) в среднем влияют на здоровье 10–25% [9, 10]. В странах, население которых придерживается правил здорового питания, в том числе больше употребляют рыбы, растительной пищи и меньше животных жиров статистика по болезням сердца и сосудов или низка (страны Средиземноморья), или резко снизилась за последние 50 лет (Финляндия). А это значит, что диагнозы «инфаркт», «инсульт», «диабет» мы можем отодвинуть собственной рукой [11].

Одним из продуктов здорового питания заслуженно является рыба и морепродукты. Кулинарная продукция и блюда из рыбы имеют особое значение в диетическом питании, а также в питании детей, пожилых людей, людей, страдающих атеросклерозом и ожирением [11, 12].

Мясо рыб в отличие от мяса теплокровных животных содержит мало грубой соединительной ткани, что способствует лучшему перевариванию ферментами желудочно-кишечного тракта человека [10].

Пищевая ценность мяса рыб – это прежде всего полноценные белки, усвояемость которых составляет 97%, поэтому их количество в одной порции рыбного блюда в зависимости от выхода и вида рыбы составляет от 14 до 30 граммов. Энергетическая ценность – одна из наиболее важных характеристик пищевых продуктов определяющая их пищевую ценность. Определяется количеством энергии, получаемой организмом от пищевых компонентов, входящих в потребляемую пищу, зависит от содержания в ней углеводов, жиров, белков и органических кислот [13].

Для продуктов питания энергетическая ценность обычно указывается из расчёта на

100 граммов продукта либо на одну порцию для фасованных продуктов, включает сведения о количестве трёх основных компонентов (жиры, белки, углеводы) и общую энергетическую ценность в ккал и кДж. (1 ккал = 4,184 кДж).

Расчет энергетической ценности производится по следующей формуле:

$$\text{Эц} = 4x X + 9x Y + 4x Z \quad (1)$$

где Эц – энергетическая ценность, кКал; X – количество белков, г; Y – количество жиров, г; Z – количество углеводов, г.

Данные рассчитываются только на съедобную часть блюда, поэтому берется только вес нетто или вес готового продукта. Итоги расчет пищевой и энергетической ценности представлен на примере опытного образца блюда «Треска под маринадом» (таблица 1).

Таблица 1.

Расчет пищевой и энергетической ценности на блюдо «Треска под маринадом», (выход 175 г.)

Table 1.

Calculation of nutritional and energy value for the dish "Marinated Cod", (yield 175 g)

Наименование Name	Белки Proteins	Жиры Fats	Углеводы Carbohydrates	Энергетическая ценность, ккал Energy value, kcal
	Количество в рецептуре Quantity in the recipe			
Треска Cod	8	0,3	0	34,7
Мука Flour	1,03	0,098	7,63	33,6
Масло подсолнечное Oil	0	10	0	90
Морковь Carrot	0,6	0,15	6,3	27,3
Лук репчатый Onion	0,17	0,016	1,4	6
Томат паста Tomato paste	0,64	0,07	2,8	13,6
Соль Salt	0	0	0	0
Лук зеленый Green onion	0,3	0,01	0,2	2
Итого: Total:	10,74	10,6	18,3	207

Так как при приготовлении блюда «Треска под маринадом» продукты подвергаются тепловой обработке, то расчет выполняется с учетом потерь пищевых веществ и массы при обработке продуктов: для белков – 6%, жиров – 12%, углеводов – 9%. Чтобы произвести расчет энергетической ценности блюда, энергетическую ценность блюда, массовую долю входящих в его состав пищевых веществ умножают на соответствующие коэффициенты энергетической ценности и полученные величины суммируют. Результат выражается в килокалориях (ккал/г).

В блюде «Треска под маринадом» после тепловой обработки содержание пищевых веществ составляет:

- белков $(100 - 6) \times 10,74 = 10$ ккал/г;
- жиров $(100 - 12) \times 10,6 = 9,32$ ккал/г;
- углеводов $(100 - 9) \times 18,3 = 16,6$ ккал/г.

Расчет энергетической ценности на опытный образец «Треска под маринадом» (одной порции):

$$\text{Э}_{100} = 10 \times 4 + 9,32 \times 9 + 16,6 \times 4 = 190,28 \text{ ккал/г.}$$

Для определения энергетической ценности 100 граммов готового блюда выполняем пересчет количества белков, жиров и углеводов следующим образом. Содержание белка в 175 граммах готового блюда «Треска под маринадом» составляет 10,74 граммов, тогда содержание белка на 100 граммов готового блюда составит: $100 \times 10 / 175 \text{ г.} = 5,7$ ккал/г; жиров: $100 \times 9,32 / 175 \text{ г.} = 5,3$ ккал/г; углеводов: $100 \times 16,6 / 175 = 9,4$ ккал/г.

Расчет энергетической ценности на опытный образец блюда «Треска под маринадом» в 100 г.:

$$\text{Э}_{100} = 5,7 \times 4 + 5,3 \times 9 + 9,4 \times 4 = 22,8 + 47,7 + 37,6 = 108,1 \text{ ккал/г.}$$

Если в качестве сравнения взять блюда из рыбы, грибов и макаронных изделий, то по своему пищевому и энергетическому составу блюда из рыбы менее калорийны и более полноценны в качестве источника белка, больше подходят для диетического питания. В качестве альтернативного примера представлены данные на блюдо «Крокеты из макарон с шампиньонами и зеленью» (таблица 2).

Таблица 2.

Пищевая и энергетическая ценность блюд из рыбы и грибов (выход 100 г.)

Table 2.

Nutritional and energy value of fish and mushroom dishes (yield 100 g)

Наименование образца Sample name	Белки, г Proteins, g	Жиры, г Fats, g	Углеводы, г Carbohydrates, g	Энергетическая ценность, ккал Energy value, kcal
Треска под маринадом Marinated Cod	5,7	5,3	9,4	108,1
Крокеты из макарон с шампиньонами и зеленью Croquettes of pasta with champignons and herbs	5,24	6,1	11,2	120,66

«Треска под маринадом» содержит на 8% больше белка, на 15% меньше жира, на 19,1% меньше углеводов и на 11,6% менее калорийна, чем «Крокеты из макарон с шампиньонами и зеленью». Овощи, входящие в блюдо, а также растительное масло, позволили обогатить треску углеводами и жиром, т. к. эта рыба относится к тощим видам гидробионтов и содержит 16% белка, 0,6% жира и 69 ккал на 100 г. продукта.

Сорта рыбы подразделяются на жирные, среднежирные и маложирные. К рыбе жирных сортов относятся жирная сельдь, палтус, скумбрия, угорь, рыба семейства осетровых: содержание жира в них – от 8% и более, а средняя калорийность – 200–250 ккал. От 4% до 8% жира содержится в рыбе средней жирности, калорийность ее составляет от 90 до 140 ккал. К таким видам относятся ставрида, зубатка, судак, горбуша, форель, тунец, карп, морской окунь. В группу маложирной рыбы входят треска, пикша, минтай, путассу, камбала, лещ, навага, хек. Такие виды рыб содержат не более 4% жира, а их калорийность составляет 82–95 ккал, поэтому их включают в рацион людей с избыточным весом, но в лечебно-профилактическом питании добавляют рыбу и средней жирности [14].

Жир рыб содержит ненасыщенные жирные кислоты, поэтому имеет низкую температуру плавления и усваивается на 90%. Однако при неправильном хранении – при высоких температурах и под воздействием кислорода – рыбные жиры быстро окисляются, рыба прогоркает, приобретает неприятный вкус и запах, теряется качество продукта.

Так как ненасыщенные жирные кислоты человек самостоятельно не производит, а получает их только с пищей, то одним из достоинств особенно жирных сортов рыбы является содержание в ней омега-3 жирных кислот, которые необходимы для эндокринной, сердечно-сосудистой и нервной систем организма.

Содержание в мясе рыбы жирорастворимых витаминов А и D делает ее необходимой в рационе детского питания, так как витамин D участвует в формировании костного скелета, предупреждает развитие рахита, а витамин

А входит в состав зрительных пигментов глаза – его недостаток может вызвать ослабление сумеречного зрения (куриная слепота). Для людей с сердечно-сосудистыми заболеваниями содержащиеся в рыбе кальций и магний помогают нормализовать деятельность сердечной мышцы.

Йод, содержащийся в рыбных продуктах, обеспечивает нормальную работу щитовидной железы, гормоны которой влияют на иммунитет и работу головного мозга человека, решает проблему йододефицита, особенно актуальную в европейской части России и странах Европы, где почва, вода и воздух бедны содержанием этого микроэлемента.

Содержание цинка, необходимого для выработки тестостерона, который способствует росту мышц, делает блюда из рыбы необходимыми для людей, занимающихся спортом.

Следовательно, рыба является одним из ценных продуктов, поэтому ее используют почти во всех лечебно-профилактических рационах. Современные диетологи рекомендуют употреблять ее два-три раза в неделю, противопоказаниями могут являться аллергические реакции на содержащийся в рыбе протеин.

Однако некоторые виды рыб могут содержать вредные для организма вещества, такие как ртуть, полихлорированные дифенилы, диоксины. Заражение рыб происходит вследствие загрязнения водоемов токсичными веществами. Повышенный уровень заражения чаще наблюдается у старых хищных рыб, таких как большеглазый тунец, королевская макрель, акула, рыба-меч, кафельная рыба. 01.09.2017 вступил в силу технический регламент ЕАЭС 040/2016 «О безопасности рыбы и рыбной продукции» [15]. Раздел V «Требования безопасности пищевой рыбной продукции гласит»: «Пищевая рыбная продукция должна быть изготовлена из водных биологических ресурсов, извлеченных (выловленных) из безопасных районов добычи (вылова) в соответствии с данными планового мониторинга безопасности водных биологических ресурсов, осуществляемого уполномоченными органами государств-членов, и объектов аквакультуры, происходящих из хозяйств (предприятий), благополучных в ветеринарном отношении».

Стабильный высокий спрос на рыбную продукцию побуждает недобросовестных производителей с целью увеличения объемов реализации подделывать рыбную продукцию, разбавляя рыбные товары водой и искусственными заменителями. Качество и безопасность рыбной продукции на территории Евразийского экономического союза определяет технический регламент «О безопасности рыбы и рыбной продукции» (ТР ЕАЭС 040/2016). Настоящий технический регламент разработан в целях защиты

жизни и здоровья человека, животных и растений, имущества, окружающей среды, предупреждения действий, вводящих в заблуждение потребителей пищевой рыбной продукции относительно ее назначения и безопасности [15, 16].

Качество готовых рыбных блюд и полуфабрикатов прежде всего определяется качеством исходного сырья [17, 18]. Пример комплекта нормативно-технической документации на качество исходного сырья, представлен на примере блюда «Треска под маринадом» (таблица 3).

Таблица 3.

Нормативно-техническая документация на качество исходного сырья для блюда
«Треска под маринадом»

Table 3.

Normative and technical documentation for the quality of raw materials for the dish
"Cod under the marinade"

Пищевой продукт Food product	Нормативно-технологический документ Regulatory technological document
Филе трески без кожи мороженое Cod fillet skinless ice cream	ГОСТ 32006–2012 «Филе трески без кожи подпрессованное мороженое. Технические условия (переиздание)» GOST 32006–2012 "Skinless cod fillet pre-pressed ice cream. Specifications (Reissue)"
Мука пшеничная хлебопекарная Baking wheat flour	ГОСТ 26574–2017 «Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия (с Поправками, с Изменением № 1)» GOST 26574–2017 Baking wheat flour. Specifications (as amended, with Amendment No. 1)"
Масло подсолнечное Sunflower oil	ГОСТ 1129–2013 «Масло подсолнечное. Технические условия» GOST 1129–2013 "Sunflower oil. Specifications"
Морковь свежая fresh carrots	ГОСТ 1721–85 «Морковь столовая свежая заготавливаемая и поставляемая. Технические условия (с изменениями № 1, 2, 3)» GOST 1721–85 "Fresh table carrots harvested and supplied. Specifications (with Amendments No. 1, 2, 3)"
Лук репчатый свежий fresh onion	ГОСТ 34306–2017 «Лук репчатый свежий. Технические условия (с Поправкой)» GOST 34306–2017 Fresh onion. Specifications (as amended)"
Томатная паста tomato paste	ГОСТ 54678–2011 «Продукты томатные консервированные. Общие технические условия» GOST 54678–2011 "Canned tomato products. General technical conditions"

Технологический процесс приготовления заканчивается отпуском и оформлением блюда. Правильно и эстетически красиво оформленное блюдо вызывает аппетит и способствует лучшему усвоению пищи организмом, поэтому в ресторанах этому уделяется особое внимание, а в буфетах, столовых и кулинарных магазинах скорость реализации товаров напрямую зависит от внешнего вида блюд.

Общие требования к разработке и оформлению блюд регламентированы ГОСТ 51740–2016 «Технические условия на пищевую продукцию. Общие требования к разработке и оформлению». Требования к оформлению, содержанию и построению технологических документов установлены в ГОСТ Р 53105–2008 «Услуги общественного питания. Технологические документы на продукцию общественного питания». Данные стандарты распространяются на технологические документы на продукцию, изготавливаемую предприятиями общественного питания (далее ПОП) различных форм собственности и индивидуальными предпринимателями [19, 20].

Органолептические показатели пищевых продуктов, в т. ч. свойства, вкус, аромат, цвет, свежесть и питательные свойства являются ключевыми элементами, влияющими на выбор и приемлемость потребителей продуктов питания. Следовательно, общее улучшение качества пищевых продуктов, таких как безопасность, питательная ценность, ограничение по времени и минимизация производственных затрат всегда была приоритетом в большинстве технологий пищевой промышленности [19, 21, 22].

На основании полученных данных разработаны нормативные документы на новый ассортимент кулинарной продукции [9, 10], проведены производственные исследования (испытания) и внедрение технологии в комбинате школьного питания ООО «Правильная кухня», выполнен расчет экономической эффективности производства.

Полученные в ходе исследований результаты представляют собой комплексный методологический подход к решению проблемы качества питания, включающий основные понятия, подходы к классификации, формулы расчета пищевой и энергетической ценности, альтернативные

примеры данных показателей, базовый комплекс нормативных актов, регламентирующих вопросы в области качества и пищевой безопасности рыбы и блюд из нее. Это является оригинальным вкладом в теоретическую часть изучаемого вопроса и имеет прикладное значение для соответствующих отраслей экономики. Полученные результаты учитывают специфику обеспечения качества и безопасности рыбы, как важного продукта питания. Однако, в проведенных исследованиях не уделено особое внимание методам оценки качества и безопасности блюд из рыбы, что является направлением для проведения дальнейших исследовательских работ. Следовательно, вопрос обеспечения качества и безопасности рыбы, как продукта здорового питания является многоаспектным и требует комплексного методологического изучения всех его элементов.

Заключение

Вопросам здоровья населения уделяется большое внимание, как в России, так и во всем мире. Рыба является полноценным продуктом здорового питания, который обладает сбалансированной пищевой и энергетической ценностью. В работе приведен состав витаминов и микроэлементов, входящих в рыбу, даны альтернативные примеры блюд из растительных компонентов и выявлены преимущества блюд из рыбы. Показано, что рыбные блюда и кулинарные изделия могут быть рекомендованы для питания различных контингентов в предприятиях общественного питания. Определены базовые нормативно-правовые документы, регламентирующие требования к качеству и безопасности блюд из рыбы. Таким образом, цели и задачи работы выполнены.

Литература

- 1 Рождественская Л.Н., Липатова Л.П. Повышение качества пищевых продуктов на основе прослеживаемости // Пищевая промышленность. 2017. №. 11. С. 64-68.
- 2 Либих Ю. Большая советская энциклопедия. Универсальная научно-популярная энциклопедия. Кругосвет, 2023.
- 3 Кунакова Р.В., Зайнуллин Р.А., Хуснутдинова Э.К., Ялаев Б.И. Здоровое питание XXI века: функциональные продукты питания и нутригеномика // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2016. Т. 21. №. 3 (83). С. 5-14.
- 4 Чугунова Е.И. ИП Павлов-лауреат Нобелевской премии по физиологии пищеварения // Российский медико-биологический вестник имени академика ИП Павлова. 2014. №. 2. С. 94-97.
- 5 Siri-Tarino P.W., Sun Q., Hu F.B., Krauss R.M. Saturated fat, carbohydrate, and cardiovascular disease // The American journal of clinical nutrition. 2010. V. 91. №. 3. P. 502-509.
- 6 Siri-Tarino P.W., Sun Q., Hu F.B., Krauss R.M. et al. Meta-analysis of prospective cohort studies evaluating the association of saturated fat with cardiovascular disease // The American journal of clinical nutrition. 2010. V. 91. №. 3. P. 535-546.
- 7 Куликова А.С., Титова И.М., Писарькова М.В. Проектирование рыбных полуфабрикатов для питания детей школьного возраста // Известия КГТУ. №5. 2019. С. 116-129.
- 8 Малова И.В. Методика оценки регионального потребительского рынка и ее апробация на примере Ивановской области // Экономика и предпринимательство. 2014. №11 (52). С. 130-136.
- 9 Васюкова А., Кривошонов К. Разработка рецептуры специализированных рыбных блюд с улучшенными органолептическими показателями для питания детей // Цифровое общество: образование, наука, карьера. 2021. С. 188-198.
- 10 Васюкова А.Т., Кривошонов К.В., Сидоренко Ю.И. Биогенные амины в рыбных полуфабрикатах и кулинарных изделиях // Рыбное хозяйство. 2022. №1. С. 95-102. doi: 10.37663/0131-6184-2022-1-95-102
- 11 Симонова Г.И., Тутьельян В.А., Погожева А.В. Питание и атеросклероз // Сибирский научно-медицинский журнал. Бюллетень СО РАМН. 2006. №2. С. 80-84.
- 12 Перова Н.В., Метельская В.А., Соколов Е.И., Щукина Г.Н. и др. Пищевые жирные кислоты. Влияние на риск болезней системы кровообращения // Рациональная фармакотерапия в кардиологии. 2011. №7 (5). С. 620-628.
- 13 Zevenbergen H., De Bree, A., Zeelenberg, M., Laitinen, K. et al. Foods with a high fat quality are essential for healthy diets // Annals of Nutrition and Metabolism. 2009. V. 54. №. 1. P. 15-24.
- 14 Бубырь И.В. Пищевая ценность пресноводных рыб Беларуси // Полесский государственный университет. 2015. С. 1-8.
- 15 ТР ЕАЭС 040/2016 Технический регламент Евразийского экономического союза «О безопасности рыбы и рыбной продукции»
- 16 Phang M., Lazarus S., Wood L.G., Garg M. et al. Diet and thrombosis risk: nutrients for prevention of thrombotic disease // Seminars in thrombosis and hemostasis. Thieme Medical Publishers, 2011. V. 37. №. 03. P. 199-208.
- 17 Simon S.J.G.B., Sancho R.A.S., Lima F.A., Ca-bral C.C.V.Q. et al. Interaction between soybean oil and the lipid fraction of fried prawn // Food Science and Technology. 2012. V. 48. P. 120-126.
- 18 Wall R., Ross R.P., Fitzgerald G.F., Stanton C. Fatty acids from fish: the anti-inflammatory potential of long-chain omega-3 fatty acids // Nutrition Reviews. 2010. V. 68. P. 280-289.
- 19 ГОСТ 51740-2016 «Технические условия на пищевую продукцию. Общие требования к разработке и оформлению».
- 20 ГОСТ Р 53105-2008 «Услуги общественного питания. Технологические документы на продукцию общественного питания».
- 21 Erikson U., Standal I. B., Aursand I. G., Veliyulin E. et al. Use of NMR in fish processing optimization: a review of recent progress // Magnetic Resonance in Chemistry. 2012. V. 50(7). P.471-480.
- 22 Lund D. Predicting the impact of food processing on food constituents // Journal of food engineering. 2003. V. 56. № 2-3. P. 113-117.

References

- 1 Rozhdestvenskaya L.N., Lipatova L.P. Improving the quality of food products based on traceability. Food industry. 2017. no. 11. pp. 64-68. (in Russian).
- 2 Liebig Yu. Great Soviet Encyclopedia. Universal popular science encyclopedia. Around the World, 2023. (in Russian).
- 3 Kunakova R.V., Zainullin R.A., Khusnutdinova E.K., Yalaev B.I. Healthy nutrition of the XXI century: functional foods and nutrigenomics. Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan. 2016. vol. 21. no. 3 (83). pp. 5-14. (in Russian).
- 4 Chugunova E.I. IP Pavlov, Nobel Prize laureate in the physiology of digestion. Russian Medical and Biological Bulletin named after Academician IP Pavlov. 2014. no. 2. pp. 94-97. (in Russian).
- 5 Siri-Tarino P.W., Sun Q., Hu F.B., Krauss R.M. Saturated fat, carbohydrate, and cardiovascular disease. The American journal of clinical nutrition. 2010. vol. 91. no. 3. pp. 502-509.
- 6 Siri-Tarino P.W., Sun Q., Hu F.B., Krauss R.M. et al. Meta-analysis of prospective cohort studies evaluating the association of saturated fat with cardiovascular disease. The American journal of clinical nutrition. 2010. vol. 91. no. 3. pp. 535-546.
- 7 Kulikova A.S., Titova I.M., Pisarkova M.V. Design of semi-finished fish products for feeding school children. News of KSTU. no. 5. 2019. pp. 116-129. (in Russian).
- 8 Malova I.V. Methodology for assessing the regional consumer market and its testing on the example of the Ivanovo region. Economics and Entrepreneurship. 2014. no. 11 (52). pp. 130-136. (in Russian).
- 9 Vasyukova A., Krivoshonok K. Development of recipes for specialized fish dishes with improved organoleptic characteristics for children's nutrition. Digital society: education, science, career. 2021. pp. 188-198. (in Russian).
- 10 Vasyukova A.T., Krivoshonok K.V., Sidorenko Yu.I. Biogenic amines in semi-finished fish products and culinary products. Fisheries. 2022. no. 1. pp. 95-102. doi: 10.37663/0131-6184-2022-1-95-102 (in Russian).
- 11 Simonova G.I., Tutelyan V.A., Pogozheva A.V. Nutrition and atherosclerosis. Siberian Medical Scientific Journal. Bulletin of the SB RAMS. 2006. no. 2. pp. 80-84. (in Russian).
- 12 Perova N.V., Metelskaya V.A., Sokolov E.I., Shchukina G.N. and others. Food fatty acids. Influence on the risk of diseases of the circulatory system. Rational pharmacotherapy in cardiology. 2011. no. 7 (5). pp. 620-628. (in Russian).
- 13 Zevenbergen H., De Bree, A., Zeelenberg, M., Laitinen, K. et al. Foods with a high fat quality are essential for healthy diets. Annals of Nutrition and Metabolism. 2009. vol. 54. no. 1. pp. 15-24.
- 14 Buby I.V. Nutritional value of freshwater fish in Belarus. Polesie State University. 2015. pp. 1-8. (in Russian).
- 15 EAEU TR 040/2016 Technical Regulations of the Eurasian Economic Union "On the safety of fish and fish products". (in Russian).
- 16 Phang M., Lazarus S., Wood L.G., Garg M. et al. Diet and thrombosis risk: nutrients for prevention of thrombotic disease. Seminars in thrombosis and hemostasis. Thieme Medical Publishers, 2011. vol. 37. no. 03. pp. 199-208.
- 17 Simon S.J.G.B., Sancho R.A.S., Lima F.A., Ca-bral C.C.V.Q. et al. Interaction between soybean oil and the lipid fraction of fried pitu prawn. Food Science and Technology. 2012. vol. 48. pp. 120-126.
- 18 Wall R., Ross R.P., Fitzgerald G.F., Stanton C. Fatty acids from fish: the anti-inflammatory potential of long-chain omega-3 fatty acids. Nutrition Reviews. 2010. vol. 68. pp. 280-289.
- 19 GOST 51740-2016. "Technical conditions for food products. General requirements for development and design". (in Russian).
- 20 GOST R 53105-2008. "Catering services. Technological documents for public catering products". (in Russian).
- 21 Erikson U., Standal I. B., Aursand I. G., Veliyulin E. et al. Use of NMR in fish processing optimization: a review of recent progress. Magnetic Resonance in Chemistry. 2012. vol. 50(7). pp. 471-480.
- 22 Lund D. Predicting the impact of food processing on food constituents. Journal of food engineering. 2003. vol. 56. no. 2-3. pp. 113-117.

Сведения об авторах

Ирина В. Малова к.т.н., доцент, кафедра менеджмента, технологии бизнеса и гуманитарных дисциплин, Российский экономический университет им Г.В. Плеханова Ивановский филиал, ул. Дзержинского, д.53, г. Иваново, 153000, Россия, mair28@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8314-6678>

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

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

Танзиля Р. Любецкая к.т.н., доцент, кафедра индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Волоколамское шоссе, д. 11, г. Москва, 125080, Россия, ltanzilya@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1078-9311>

Александра С. Москаленко аспирант, колледж университета, Московский гуманитарно-экономический университет,

Information about authors

Irina V. Malova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, management, business technology and humanities department, Russian University of Economics named after G.V. Plekhanov Ivanovo branch, st. Dzerzhinsky, 53, Ivanovo, 153000, Russia, mair28@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8314-6678>

Anna T. Vasyukova Dr. Sci. (Chem.), professor, food industry, hotel business and service department, Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), Volokolamskoe shosse, 11, Moscow, 125080, Russia, vasyukova-at@ya.ru

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

Tanzilya R. Lubetskaya Cand. Sci. (Econ.), engineer, food industry, hotel business and service department, Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), Volokolamskoe shosse, 11, Moscow, 125080, Russia, ltanzilya@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1078-9311>

Alexandra S. Moskalenko graduate student, university college, Moscow University for the Humanities and Economics, Leninsky

Ленинский проспект 8 стр. Москва, 16119049, Россия,
sasha19121978@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5681-2217>

Евгений Ю. Латышев аспирант, кафедра цифровой
нутрициологии, гостиничного и ресторанного бизнеса,
Московский государственный университет технологий и
управления им. К.Г. Разумовского, ул. Земляной вал, 73,
г. Москва, 109004, Россия, jack77793@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1409-4007>

Prospekt 8, bldg. Moscow, 16119049, Russia,
sasha19121978@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5681-2217>

Evgeny Yu. Latyshev graduate student, digital nutrition, hotel
and restaurant business department, Moscow State University of
Technology and Management. K.G. Razumovsky, st. Zemlyanoy
Val, 73, Moscow, 109004, Russia, jack77793@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1409-4007>

Вклад авторов

Ирина В. Малова предложила методику проведения эксперимента

Анна Т. Васюкова обзор литературных источников по исследуемой
проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты

Танзиля Р. Любetskaya консультация в ходе исследования

Александра С. Москаленко написала рукопись, корректировала её
до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Евгений Ю. Латышев обзор литературных источников по
исследуемой проблеме, провел эксперимент, выполнил расчёты

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

Irina V. Malova proposed a scheme of the experiment and organized
production trials

Anna T. Vasyukova review of the literature on an investigated problem,
conducted an experiment, performed computations

Tanzilya R. Lubetskaya consultation during the study

Alexandra S. Moskalenko wrote the manuscript, correct it before filing
in editing and is responsible for plagiarism

Evgeny Yu. Latyshev review of the literature on an investigated problem,
conducted an experiment, performed computations

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 01/04/2023	После редакции 12/04/2023	Принята в печать 22/05/2023
Received 01/04/2023	Accepted in revised 12/04/2023	Accepted 22/05/2023

Анализ потребительских предпочтений и готовности потребителей Астраханской области к приобретению биоразлагаемых упаковочных материалов и упаковки

Данил В. Олдырев ¹	daniloldyrev@gmail.com	 0000-0002-2431-611X
Наталья В. Ярцева ¹	n.v.yartseva@mail.ru	 0000-0002-8511-3236
Ольга Д. Сергазиева ²	ahiles-7575@mail.ru	 0000-0002-2122-1318
Анна А. Бахарева ²	bahareva.anya@ya.ru	 0000-0002-7724-2425

¹ Астраханский государственный технический университет, ул. Татищева, 16, корп. 2, г. Астрахань, 414056, Россия

² Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет), ул. Земляной Вал, д. 73, г. Москва, 109004, Россия.

Аннотация. В наше время все больше людей обращают внимание на проблему экологии и устойчивого развития. Одним из наиболее актуальных вопросов является проблема переработки и утилизации отходов, в том числе и упаковочных материалов. Сегодня многие производители внедряют новые технологии и материалы, которые способствуют уменьшению экологического воздействия на окружающую среду. Биоразлагаемая упаковка является одним из способов снижения негативного воздействия на окружающую среду, поскольку она не накапливается в природе и разлагается естественным путем в более короткие сроки по сравнению с пластиком и комбинированными материалами. Однако, несмотря на ее преимущества, она не является универсальным решением проблемы экологической устойчивости. Ее производство может быть более затратным и сложным, чем традиционных упаковочных материалов, а также существуют определенные ограничения на ее использование. В данной статье описаны результаты опроса, проводимого среди жителей Астраханской области, для выявления потребительских предпочтений в области использования биоразлагаемых упаковок и упаковочных материалов. В результате анализа полученных данных был составлен целевой портрет потребителя, определен уровень осведомленности об биоразлагаемых упаковках и упаковочных материалах. Также было выявлено, что наиболее популярными биоразлагаемыми материалами у потребителей являются биобумага и биопластик, а главным фактором при выборе упаковки является удобство использования. Несмотря на то, что более 70% респондентов предпочли биоразлагаемые упаковки и упаковочные материалы традиционным изделиям из пластика, лишь не многие готовы переплатить за данный тип упаковки, что является результатом социально-экономической ситуации Астраханского региона.

Ключевые слова: биоразлагаемая упаковка, потребительские предпочтения, опрос, респонденты, Астраханская область, портрет потребителя, экология.

Analysis of consumer preferences and readiness of consumers in the Astrakhan region to purchase biodegradable packaging materials and packaging

Danil V. Oldyrev ¹	daniloldyrev@gmail.com	 0000-0002-2431-611X
Natalia V. Yartseva ¹	n.v.yartseva@mail.ru	 0000-0002-8511-3236
Olga D. Sergazieva ²	ahiles-7575@mail.ru	 0000-0002-2122-1318
Anna A. Bakhareva ²	bahareva.anya@ya.ru	 0000-0002-7724-2425

¹ Astrakhan State Technical University, Tatischeva str., 16, build. 2, Astrakhan, 414056, Russia

² K. G. Razumovsky Moscow State University of Technology and Management (First Cossack University), Shabolovka str., 14/9, Moscow, 119049, Russia

Abstract. Today more and more people pay attention to the problem of ecology and sustainable development. One of the most pressing issues is the problem of recycling and disposal of waste, including packaging materials. Today, many manufacturers are introducing new technologies and materials that help reduce the environmental impact on the environment. Biodegradable packaging is one of the ways to reduce the negative impact on the environment, because it does not accumulate in nature and decomposes naturally in a shorter time compared to plastic and combined materials. However, despite its advantages, it is not a universal solution to the problem of environmental sustainability. Its production can be more costly and complex than traditional packaging materials, and there are certain restrictions on its use. This article describes the results of a survey conducted among the residents of the Astrakhan region to identify consumer preferences for the use of biodegradable packaging and packaging materials. As a result of the analysis of the data obtained, the target consumer portrait was compiled, and the level of awareness of biodegradable packaging and packaging materials was determined. It was also revealed that the most popular biodegradable materials among consumers are biobaper and bioplastic, and the main factor in choosing packaging is ease of use. Despite the fact that more than 70% of the respondents preferred biodegradable packaging and packaging materials to traditional plastic products, only a few were willing to overpay for this type of packaging, which is a result of the socioeconomic situation in the Astrakhan region.

Keywords: biodegradable packaging, consumer preferences, survey, respondents, Astrakhan region, consumer portrait, ecology.

Для цитирования

Олдырев Д.В., Ярцева Н.В., Сергазиева О.Д., Бахарева А.А. Анализ потребительских предпочтений и готовности потребителей Астраханской области к приобретению биоразлагаемых упаковочных материалов и упаковки // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 2. С. 80–90. doi:10.20914/2310-1202-2023-2-80-90

For citation

Oldyrev D.V., Yartseva N.V., Sergazieva O.D., Bakhareva A.A. Analysis of consumer preferences and readiness of consumers in the Astrakhan region to purchase biodegradable packaging materials and packaging. Vestnik VGUI [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 2. pp. 80–90. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-2-80-90

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

Введение

Рынок биоразлагаемых материалов в России находится в стадии активного развития. Потребительское поведение в отношении экологически чистых продуктов и услуг все больше и больше обретает важность, и потребители в России все чаще обращают внимание на экологические факторы при выборе продуктов [1].

Одним из секторов рынка биоразлагаемых материалов является упаковка. Это связано с тем, что упаковка на основе нефтехимических полимеров является основным источником отходов, которые могут оказывать негативное воздействие на окружающую среду. Поэтому компании все

чаще начинают использовать биоразлагаемые материалы для производства экологически чистой упаковки [2–4].

В настоящее время для упаковок и упаковочных материалов для товаров используют семь видов материалов. Для обозначения каждого из них используются специальные маркировочные знаки с обозначением кода переработки, представляющие собой изображение «ленты Мебиуса» с размещенными внутри числовыми идентификаторами материала (например, для пластмасс это цифры от 1 до 7). Также зачастую под «лентой Мебиуса» размещен буквенный идентификатор материала (рисунк 1) [5, 6].

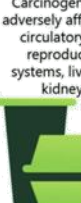
 Полиэтилентерефталат ПЭТ Polyethylene terephthalate PET	 Полиэтилен высокой плотности ПЭНД High-density polyethylene HDPE	 Поливинилхлорид ПВХ Polyvinyl chloride PVC	 Полиэтилен низкой плотности ПЭНП Low-density polyethylene LDPE	 Полипропилен ПП Polypropylene PP	 Полистирол ПС Polystyrene PS	 Прочие виды пластика Other types of plastic
Бутылки из-под воды, газированных напитков, сока, молока Bottles of water, carbonated beverages, juice, milk	Упаковка от шампуня, геля для душа, моющих Shampoo, shower gel, detergent packaging	Контейнеры и пленка для пищевых продуктов Food containers and films	Пластиковые пакеты, многоразовые сумки, бутылки Plastic bags, refillable bags, detergent bottles	Контейнеры для пищевых продуктов, многоразовая пластиковая посуда, лотки в холодильниках Food containers, reusable plastic dishes, refrigerator trays	Лотки и контейнеры для пищевых продуктов, одноразовая посуда, стаканчики из-под йогуртов, упаковки для яиц Food trays and containers, disposable dishes, yoghurt cups, egg cartons	Бутылки для кулера и детские бутылочки из поликарбоната, любые изделия из биоразлагаемых пластиков Cooler bottles and baby bottles made of polycarbonate, any biodegradable plastic
Повторно использовать не рекомендуется. Reuse is not recommended. 	Термически неустойчивый материал, нельзя хранить горячее. Not a thermally unstable material, cannot be stored hot. 	С повышением температуры, например, летом, переходит в продукт и постепенно накапливается в организме. With an increase in temperature, e.g. in summer, passes into the product and gradually accumulates in the body. 	После вскрытия упаковки желательно перелить продукт в стеклянную тару. Preferably pour product into glass containers after opening packages. 	При контакте с алкоголем выделяет формальдегид и фенол, при контакте с жировыми продуктами постепенно разрушается. In contact with alcohol, releases formaldehyde and phenol, in contact with fatty products is gradually destroyed. 	Относится к канцерогенам, неблагоприятно действующим на кровеносную и репродуктивную системы, печень и почки. Carcinogenic and adversely affects the circulatory and reproductive systems, liver and kidneys. 	Использование для пищевых целей допустимо только при наличии соответствующей маркировки. Use for food purposes only if labeled accordingly. 

Рисунок 1. Примеры использования экологического маркировочного знака с кодом переработки

Figure 1. Examples of the use of an ecolabel with a recycling code

Цифровые и буквенные обозначения материала, из которого изготавливается упаковка и упаковочные средства, а также маркировочные символы, наносимые на маркировку упаковки, применяемые на территории Российской Федерации, а также в странах, входящих в состав Евразийского экономического союза размещены в Техническом регламенте таможенного союза 005/2011 (ТР ТС 005/2011) [7].

За рубежом тема производства биоразлагаемых упаковочных материалов и упаковок из вторичного сырья является довольно актуальной. Повсеместно в настоящее время растет спрос на экологически чистые упаковочные материалы для замены пластика. Чаще всего основу упаковочных материалов составляют пленки и пленочные покрытия, которые могут выступать в качестве самостоятельной упаковочной единицы или входить в состав упаковки [8, 9].

Как утверждают иностранные исследователи, к 2050 году потребуется 50-процентное увеличение мировых запасов продовольствия из-за увеличения глобального прироста населения, вследствие чего возрастет спрос и на упаковочные материалы, поэтому новые упаковочные материалы должны быть адаптированы для поддержания качества продуктов питания и при этом отвечать новым экологическим требованиям [10, 11].

При этом для производства биоразлагаемых упаковочных материалов используется самое разнообразное сырье, так коллектив ученых из Таиланда и Малайзии предложил использовать для производства одноразовых пленок крахмал и стебли ананаса. Как показали исследования, полученные пленки водостойки, их механическая прочность значительно выше, чем у большинства немодифицированных и модифицированных крахмальных пленок. Пленки также являются термосвариваемыми при условии, что содержание лимонной кислоты достаточно, что позволяет легко превращать их в различные упаковочные материалы [12].

Учеными из Бразилии была разработана вспененная упаковка на основе продуктов переработки картофеля (*Solanum tuberosum* L.) с использованием побочного продукта картофеля, ксантановой камеди в качестве пластификатора и армирующих натуральных волокон овса. Крахмальный вспененный материал из побочного продукта картофеля можно использовать в альтернативной упаковке для сухих пищевых продуктов, или применять в сельском хозяйстве в лотках для семян, упаковке для транспортировки рассады растений или контейнерах для компоста [13].

Также учеными из Южной Кореи был разработан биоразлагаемый упаковочный материал с использованием пектина, извлеченного из жмыха Юдзу (*Citrus junos*), который считается побочным продуктом пищевой промышленности, с добавлением экстракта кожеры рамбутана. Исследования показали, что антиоксидантные свойства проявленных пленок были лучше, чем у других пленок цитрусового пектина, благодаря функциональным свойствам экстракта рамбутана [14].

Учеными из Германии, Бельгии, Италии и Испании были проанализированы 200 источников различных академических и отраслевых исследований производства биопластика. Исследования показали, что полимеры на биологической основе, принадлежащие к категории сложных полиэфигов, обычно медленно разлагаются биологически; следовательно, модификация их структуры посредством сополимеризации или других методов может быть удобной для модулирования этого свойства, увеличивая скорость и легкость их биodeградации. Эти усилия могут привести

к производству материалов, биоразлагаемых в мягких условиях, например, в условиях домашнего компостирования или в почве.

Несинтетические материалы, такие как полисахариды и белки, обычно быстро разлагаются; следовательно, их можно считать полезными технологическими добавками, наполнителями или модификаторами для биополиэфиров. Они могут способствовать улучшению их свойств (барьерных, механических и реологических свойств), что делает их подходящими для конкретных видов упаковки. Однако влияние их присутствия на возможность повторного использования биополиэфиров требует специальных технических и научных исследований. Улучшение возможности вторичной переработки материалов на основе биополиэфиров может быть выгодным для отсрочки их окончательного биоразложения, что позволит избежать производства соответствующего сырья и уменьшить их воздействие на окружающую среду [15].

В Астраханской области существует несколько производителей упаковочных материалов, предлагающих различные виды упаковки и контейнеров.

Одним из таких производителей является ООО «Астраханская фабрика тары и упаковки». Одной из специализаций предприятия является производство упаковок из гофрокартона: лотки для продуктов питания (для птицы, рыбы, кондитерских изделий), картонная упаковка для строительных материалов, гофроупаковка для мебели и сантехники, коробки и лотки из картона для обувной упаковки, гофрокороб для пиццы и пирогов, гофроящики под алкогольную продукцию, в т. ч. решетки и перегородки, лотки для овощей и фруктов, картонная упаковка для люстр, светильников и т. д. [16].

Кроме того, в Астраханской области действует компания «Мешкотара», которая реализует такие упаковочные материалы, как стрейч пленки для дополнительной защиты товара, а также вакуумные пакеты для пищевой, автомобильной, косметологической промышленности и т. д. [17].

Еще одним производителем упаковки в Астраханской области является ООО ПКФ «Алмаз», который занимается производством полиэтиленовых пленок различного назначения, а также:

– Пакеты, вкладыши, в том числе мешки фасовочные, пакеты-майки, вкладыши и пленочные укрытия различного назначения и применения. Поставляет различную тару и упаковку заказчикам, в том числе: емкости пластиковые, одноразовую посуду, вакуумные пакеты, стрейч-пленку (ручную, машинную) [18].

Также стоит отметить компанию ООО "Астра-Пак" производит широкий спектр упаковочных материалов из полиэтилена, полипропилена и других материалов, включая пленки, пакеты,

пакеты-майки, крафт-пакеты, а также одноразовую посуду, которая представлена следующим ассортиментом: алюминиевые формы, барные украшения, ведра, банки под пресервы, соусники, контейнеры круглые, контейнеры прямоугольные, лотки, подложка, одноразовая посуда в мелкой фасовке, стаканы, чашки, столовые приборы, тарелки, креманки, упаковка под кондитерские изделия [19].

Однако упаковку из комбинированных и биоразлагаемых материалов на территории Астраханской области не производят, а завозят из других крупных городов, в которых располагается производство. При этом сырьевые запасы региона позволяют производить такие виды упаковок и упаковочных материалов, для которых потребителями, в первую очередь, будут являться жители Астраханской области и близлежащих регионов.

Поэтому целью исследования данной статьи является выявление потребительских предпочтений жителей Астрахани в области упаковочных материалов для формирования методов и способов производства биоразлагаемых упаковочных материалов.

Исследование проводилось среди населения Астраханской области. Объем выборки составил 5% от генеральной совокупности численности населения АО на 1 марта 2023г. В исследовании приняли участие респонденты различного пола, возраста, социального статуса и дохода.

Материалы и методы

Исследование проводилось по средствам опроса в онлайн формате. Анкета была сформирована на базе сервиса Google Forms. Информация об онлайн-опросе и ссылка на него распространялась посредством приложения для обмена сообщениями – Whatsapp, Telegram, а также социальной сети «ВКонтакте». Для респондентов была сформирована анкета из 18 вопросов, часть из которых предполагала выбор только одного ответа, а другая часть – несколько из приведенных ответов или свой вариант. Анкета

состояла из 2 частей: первая часть была ориентирована на выявление потребительских предпочтений, а вторая часть – на формирование портрета потребителя. Полученные ответы автоматически заносились в таблицу Google с целью дальнейшего анализа. Для статистической обработки результатов исследования использовалась программа MS Office(Excel), Statistical Analyzer и метод графического отображения – создание инфографики для визуализации проведенной работы.

Результаты и обсуждение

Первой ступенью исследования было составление портрета потребителя Астраханской области. Так результаты статистической обработки показали, что 68,4% опрошенных респондентов составляют женщины. Мужчины реже интересуются подобного рода информацией, число опрошенных среди них составило 30,4 %. Несколько человек (1,2%) воздержались от указания половой принадлежности.

По роду профессиональной деятельности данные распределились следующим образом: большинство опрошенных респондентов являются специалистами (41,0%), служащими являются 12,8% опрошенных и наименьший процент (8,3%) являются рабочими. При анализе доходов потенциальных потребителей было установлено, что заработную плату в размере 25–50 тыс. р. получают 45,8%, до 25 тыс. р. – 43,8%, и только 10,5% опрошенных зарабатывают свыше 50 тыс. р. Также был установлен уровень образования респондентов: высшее образование имеют – 65,2%, неоконченное высшее – 19%, среднее профессиональное – 12%, начальное профессиональное – 1,9%, полное среднее общее – 1,9%.

Далее определяли, знакомы ли респонденты в целом с темой биоразлагаемых материалов и биоразлагаемой упаковки в частности. Для этого был задан вопрос «Знаете ли Вы о существовании одноразовой биоразлагаемой упаковки?» (рисунок 2), где предлагалось выбрать один ответ.

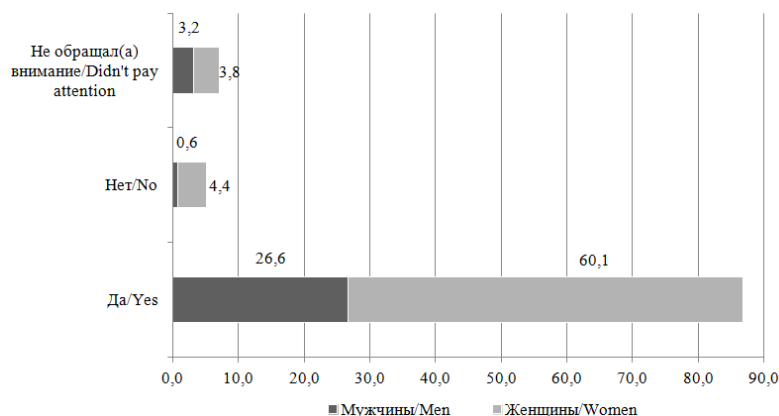


Рисунок 2. Уровень информированности респондентов о биоразлагаемых материалах и упаковке
Figure 2. Awareness level of respondents about biodegradable materials and packaging

В ходе опроса было установлено, что 86,7% опрошенных знают о существовании одноразовой биоразлагаемой упаковки, 5% не знают о существовании одноразовой биоразлагаемой упаковки, 7% опрошенных вообще не придают значение какие упаковочные материалы существуют.

На вопрос, «Какие виды одноразовых биоразлагаемых упаковочных материалов и

упаковок Вы знаете?» (рисунок 3) большинство респондентов ответило «Биобумага (повторная переработка бумажных материалов)» – 78,8%. Далее в убывающем порядке идут ответы: «Биопластик (модифицированные полимерные материалы)» – 60,2%; «Упаковка из растительного сырья» – 20,9% и «Упаковка из животного сырья» – 21,5%».

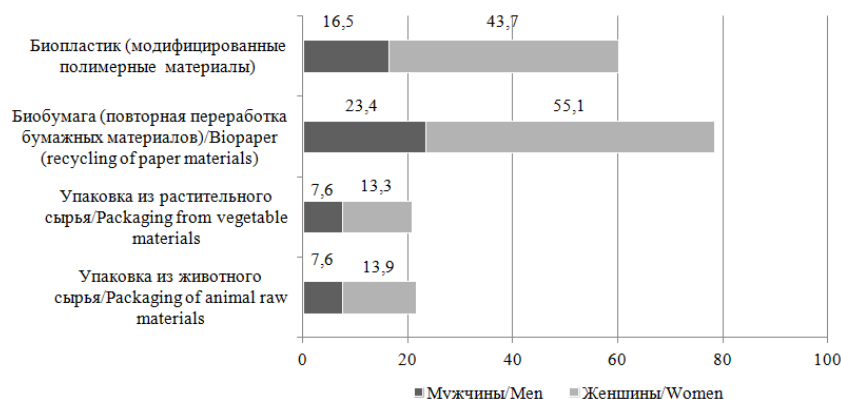


Рисунок 3. Степень информированности респондентов о видах биоразлагаемых материалов и упаковки

Figure 3. Awareness of respondents about types of biodegradable materials and packaging

Для того чтобы выяснить отношение респондентов к экологической обстановке и к угрозе загрязнения окружающей среды был задан вопрос «Задумывались ли Вы, что полимерные упаковка и

упаковочные материалы способствуют загрязнению окружающей среды и наносят вред экологии?» (рисунок 4).

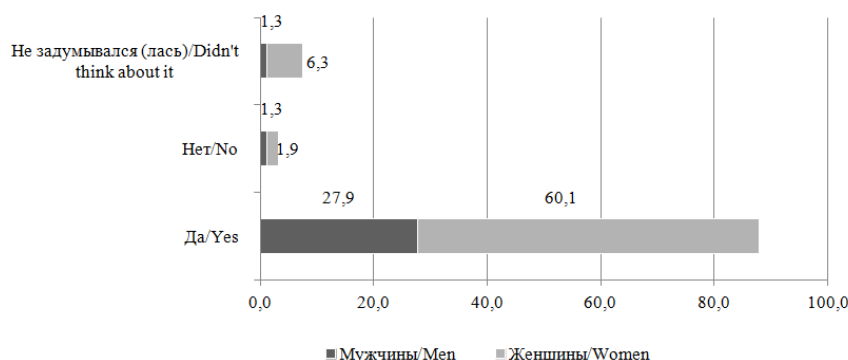


Рисунок 4. Степень информированности респондентов о вреде упаковки на окружающую среду

Figure 4. Awareness of respondents about the environmental impact of packaging

В результате было установлено, что большинство респондентов (88%) осознают, что полимерные материалы создают угрозу экологической обстановке в регионе. При этом 3,2% опрошенных не знают о вреде, который наносят полимерные отходы, а 7,6% опрошенных не задумывались вовсе об этом вопросе. Можно предположить, что одной из причин неосведомленности потребителей о вреде пластиковых отходов и о пользе биоразлагаемой упаковки является недостаточно выраженная маркировка.

Однако, как показал вопрос «Обращали ли Вы внимание на знак «экологическая маркировка» на упаковке?» (рисунок 5) Так 70,9% респондентов обращают внимание на экологические маркировочные знаки, при этом 12,6% не проверяют маркировочные знаки, а 14,6%

в целом не обращают внимания, что показывает и поле для собственных ответов респондентов, где встречался ответ «Практически нет».

С целью установления потребительских предпочтений при выборе упаковки как одного из этапов маркетингового исследования, респондентам был задан вопрос «На что Вы делаете акцент при выборе упаковочных материалов и упаковки?» (рисунок 6). И в ходе опроса 60,8% человек приоритетным показателем при выборе упаковочных материалов отметили вариант «Удобство использования», для 50,6% опрошенных решающим фактором является цена упаковки, для 33,5% опрошенных – экологическая безопасность. Только 0,6% респондентов не задумывались над этим вопросом.

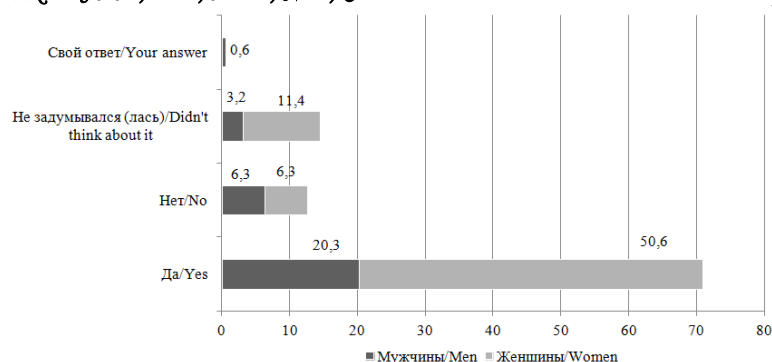


Рисунок 5. Степень информированности респондентов о маркировочных знаках

Figure 5. Respondents' degree of awareness of markings

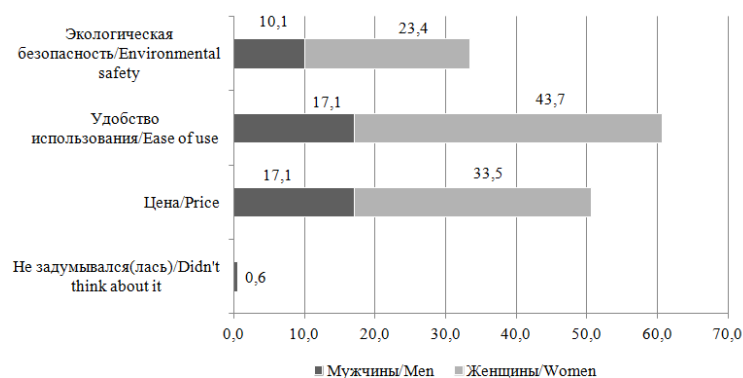


Рисунок 6. Предпочтения потребителей при выборе упаковочных материалов и упаковки

Figure 6. Consumer preferences for packaging materials and packaging

Для определения готовности потребителей приобретать биоразлагаемые упаковки и упаковочные материалы, респондентам был задан соответствующий вопрос «Готовы ли Вы приобрести одноразовую биоразлагаемую упаковку?» (рисунок 7). Так в ходе опроса установлено, что 67,7% готовы к приобретению биоразлагаемых упаковок, при этом 2,5% категорически против. Некоторое число респондентов (23,7%) выбрали ва-

риант «Затрудняюсь ответить». Также данный вопрос предполагал возможность респондентами написания собственного ответа, чем и воспользовались 3,2%. Среди собственных ответов респондентов можно выделить: «Зависит от типа упаковки, она не должна быть пластиковой», «Если цена не будет завышенной очень сильно», «В зависимости от цены и необходимости упаковки».

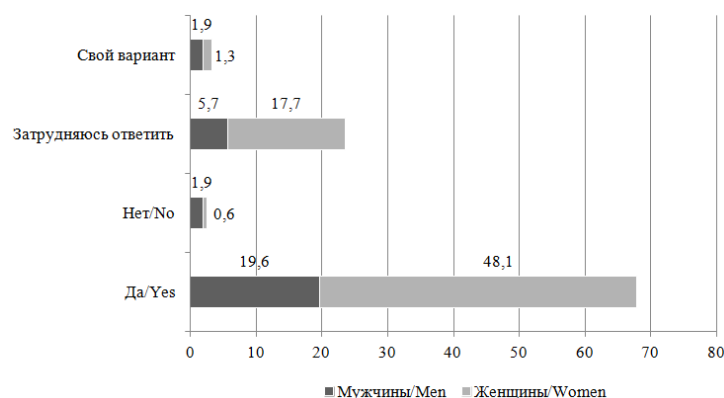


Рисунок 7. Степень готовности респондентов к покупке одноразовой биоразлагаемой упаковке

Figure 7. Degree of respondents' willingness to purchase single-use biodegradable packaging

В ходе ответов на вопрос «Приобретали ли Вы в последнее время одноразовую биоразлагаемые упаковочные материалы и упаковку?» (рисунок 8) установили, что часть респондентов приобретают биоразлагаемые упаковочные материалы и упаковку на предприятиях общественного

питания (17,7%) и в крупных сетевых магазинах при покупке товаров (37,4%). Из общего числа респондентов 25,9% не приобретали биоразлагаемые упаковки и упаковочные материалы, а 21,5% не обращают внимание при покупке.

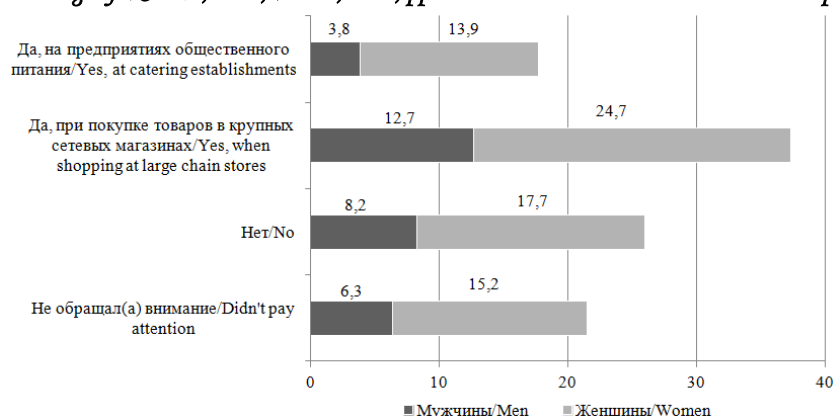


Рисунок 8. Распределение данных о покупке одноразовых биоразлагаемых упаковочных материалах и упаковке респондентами

Figure 8. Distribution of data on the purchase of single-use biodegradable packaging materials and packaging by respondents

Далее установили, каким товарам в биоразлагаемой упаковке отдают предпочтение астраханцы. Для этого был задан вопрос «Какие товары Вы бы приобретали в одноразовой биоразлагаемой упаковке?» (рисунок 9). Ответы

распределились следующим образом: продовольственные товары в биоразлагаемой упаковке приобретают – 68,4% респондентов; непродовольственные товары – 38% и 29,8% не задумывались об упаковке при приобретении товаров.

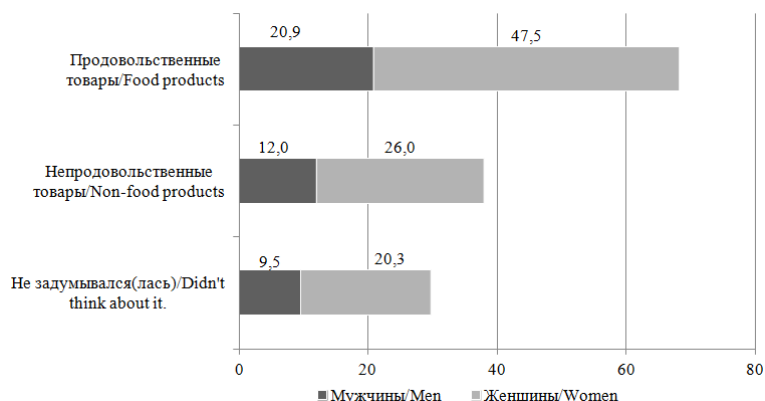


Рисунок 9. Выявление предпочтения респондентов при покупке групп товаров в биоразлагаемых материалах и упаковке

Figure 9. Identification of respondents' preferences for purchasing groups of goods in biodegradable materials and packaging

Для определения осведомленности респондентов о пользе биоразлагаемой упаковки был задан следующий вопрос: «Знаете ли Вы, что одноразовая биоразлагаемая упаковка не наносит вреда экологии и не нуждается в специальной утилизации?» (рисунок 10). При этом было установлено, что подавляющее большинство (76,6%)

знают об экологической пользе использования биоразлагаемой упаковки, а 12,1% не были осведомлены в данном вопросе и 8,2% не задумывались вовсе. Среди собственных ответов респондентов можно выделить следующий: «Считаю в каждом случае это требует специальных исследований – 0,6%».

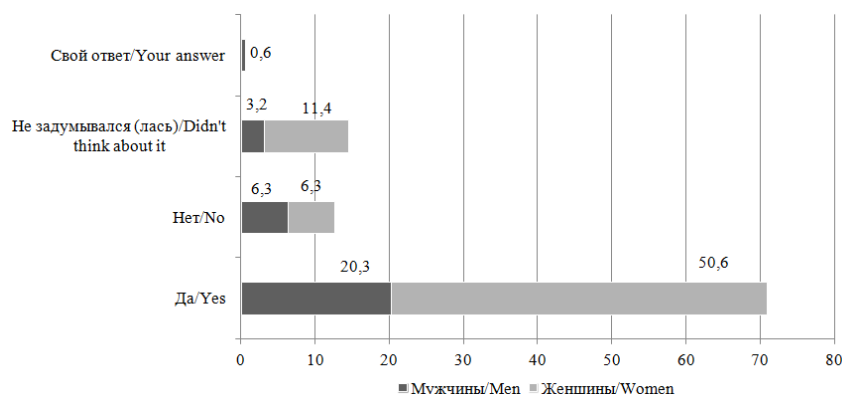


Рисунок 10. Уровень информированности респондентов о пользе биоразлагаемых материалов и упаковок

Figure 10. Level of respondents' awareness of the benefits of biodegradable materials and packaging

Для формирования критериев к требованиям потребителя в части маркировки биоразлагаемой упаковки и упаковочных материалов в ходе анализа маркировочной информации представленной на разнообразной упаковке и

упаковочных материалах был задан следующий вопрос: «Какую информацию об одноразовой биоразлагаемой упаковке вы хотели бы увидеть на упаковке?» (рисунок 11).

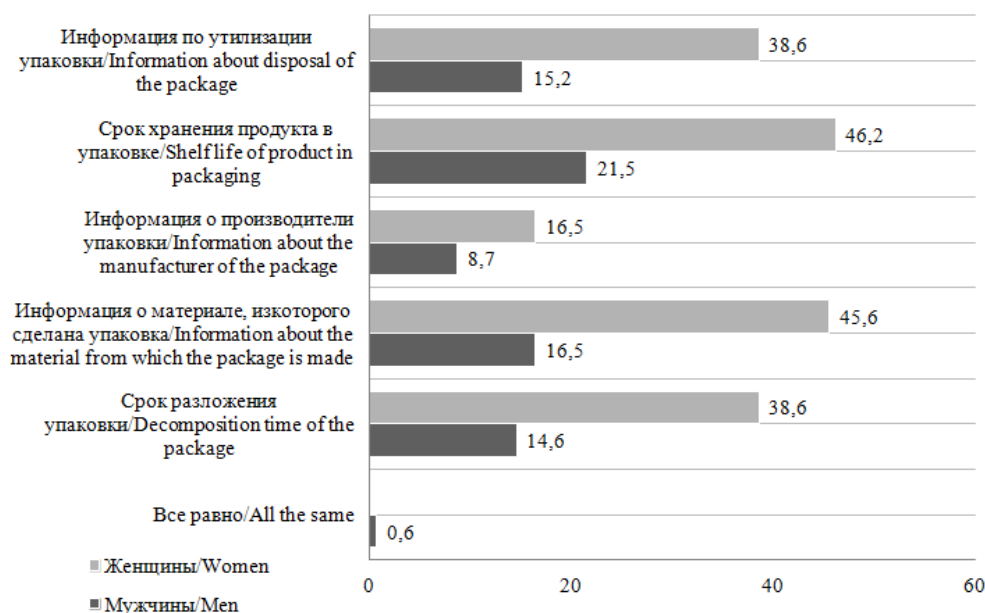


Рисунок 11. Предпочтения потребителей в области маркировке биоразлагаемой упаковки и упаковочных материалов
Figure 11. Consumer preferences for labeling biodegradable packaging and packaging materials

В ходе опроса был выявлен следующий перечень: срок хранения продукта в упаковке хотели бы наблюдать – 67,7% респондентов, информацию о материале, из которого сделана упаковка, хотели бы видеть 62,1% опрошенных, информация по утилизации упаковки – 53,8%, срок разложения упаковки – 53,2%, информацию о производителе упаковки – 25,2% и всего 0,6% опрошенных указали, что для них не имеет значения представленная на упаковке информация.

Одной из главных задач опроса является определение готовности респондентов к новым биоразлагаемым упаковочным материалам и упаковке, несмотря на повышение стоимости. Для этого был задан вопрос «Готовы ли Вы к повышению стоимости товара за счет использования в биоразлагаемый материал?», посредством которого было установлено, что 31,4% готовы к повышению стоимости за счет использования новых материалов и упаковки, 49,4% респондентов не готовы к таким переменам, а 19,2% не задумывались над этим вопросом. Не готовность потребителей переплачивать за товары в биоразлагаемой упаковке прежде всего связана с экономико-социальной характеристикой (уровень экономического развития, состояние рынка труда, уровень занятости и благосостояние население) Астраханского региона. Однако, на начало 2023 года наблюдается положительная тенденция в увеличении заработных плат работников. Так в январе 2023 года в сравнении

с аналогичным периодом в 2022 году среднемесячная заработная плата работников выросла на 14,5%.

Стоит отметить, что на начало 2023 года (январь-февраль) оборот общественного питания, постепенно растет в сравнении с аналогичным периодом в 2022 году, что еще раз подтверждает возможность внедрения новых биоразлагаемых упаковок и упаковочных материалов в данной области [20].

В ходе опроса было выявлено, что в целом респонденты, при возможности, предпочли бы в первую очередь для приобретения экологичную биоразлагаемую упаковку (72,0%), 38,2% опрошенных проголосовали за бумажную упаковку, 23,6% выбрало комбинированную упаковку и только 7,0% предпочли традиционную пластиковую упаковку (рисунок 12).

Так как для большинства респондентов современные проблемы экологии, а в частности проблема загрязнения окружающей среды вредными выбросами в процессе утилизации пластиковой упаковки и упаковочных материалов играют важную роль, было установлено, что для большего числа респондентов (76,4%) производство биоразлагаемых упаковок и упаковочных материалов является приоритетным направлением, 12,1% не задумывался об этом вопросе и только 11,5% респондентов производство биоразлагаемых упаковок не считают приоритетным направлением для решения экологических проблем.

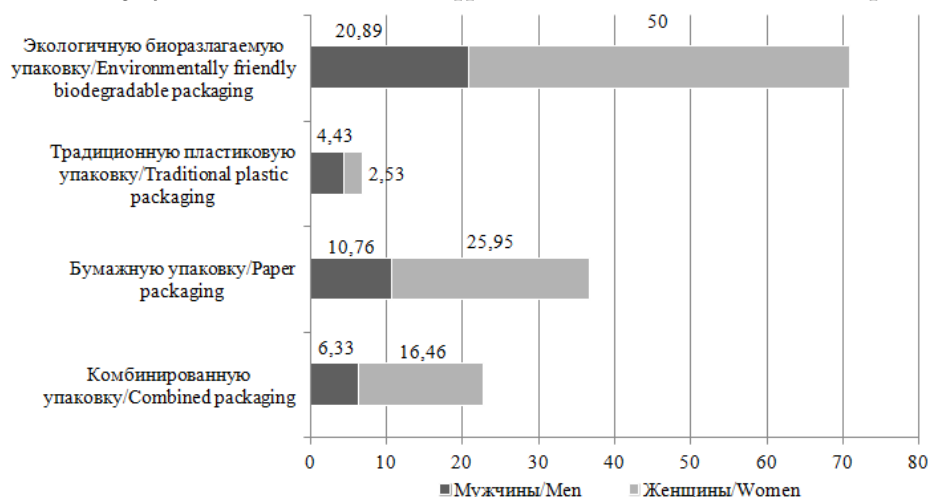


Рисунок 12. Предпочтения потребителей по видам приобретаемой упаковке

Figure 12. Consumer preferences by type of packaging purchased

Заключение

На основе вышеприведенных результатов были поэтапно установлены потребительские предпочтения, а также потенциальный портрет потребителя в области приобретения биоразлагаемой упаковки. Наиболее заинтересованной группой потребителей являются женщины (68,4%), имеющие высшее (44,3%), неоконченное высшее (13,9%) и среднее профессиональное образование, в большинстве своем являющиеся специалистами и служащими, при этом имеющие доход в среднем от 25 000 до 50 000 руб. Стоит отметить, что респонденты в большинстве своем осведомлены об биоразлагаемых упаковках и упаковочных материалах. При этом наиболее популярными видами биоразлагаемой упаковки и упаковочных материалов среди выявленной группы потребителей являются биобумага (материал подвергнутый повторной переработке) и биопластик (модифицированные полимерные материалы) – 55,1% и 43,7% соответственно. При этом маркировка биоразлагаемых упаковок и упаковочных материалов играет не последнюю роль для потребителей. Так более 50% женщин из выявленной группы всегда обращают внимание на наличие знаков экологической маркировки. Однако исходя из социально-экономической ситуации в регионе, экологическая безопасность не является решающим критерием при выборе упаковки и упаковочных материалов. На первом месте находится такой фактор как «удобство использования» (43,7%). Данный фактор относится к потребительским свойствам товаров, а в частности к эргономическим. На втором месте находится «цена» (33,5%).

На маркировке биоразлагаемых упаковочных материалов и упаковок потенциальные потребители хотели бы видеть: срок хранения продукта в упаковке (46,2%), информацию по утилизации упаковки (38,3%) и срок разложения упаковки (38,3%).

Одной из задач было выявить, готовы ли жители Астраханского региона к появлению новых биоразлагаемых материалов и упаковок на рынке. Однако, как известно, упаковывание товара в новые виды упаковок приведет к его подорожанию, а цена всегда играет не последнюю роль для потребителей. Следовательно, на вопрос о готовности к повышению стоимости товара за счет внедрения биоразлагаемых упаковок 31,4% всех респондентов готовы к данным последствиям. При этом 72,0% всех респондентов при возможности предпочитают экологические биоразлагаемые виды упаковок, среди которых 50% – это потенциальные потребители (женщины).

Таким образом, сбор и анализ данных методом опроса в онлайн формате с использованием средств Google Forms показал уровень осведомленности жители Астраханской области об биоразлагаемой упаковке и упаковочных материалов, помог выявить критерии, влияющие на выбор потребителями биоразлагаемой упаковки. С помощью онлайн опроса также была установлена готовность астраханцев к приобретению биоразлагаемой упаковки - более 60% опрошенных готовы покупать биоразлагаемые упаковку и упаковочные материалы, однако только 31,4 % опрошенных готовы переплачивать за товар, упакованный в биоразлагаемую упаковку.

Литература

- 1 Панасенкова Е.Ю., Груздева О.Е., Кузнецова М.Г. Проблема использования и утилизации одноразовой пластиковой упаковки в торговых сетях и в заведениях общественного питания // XXI век. Техносферная безопасность. 2020. № 5(4). С. 356–363.
- 2 Золотарева В.П., Будникова О.А. Упаковочная индустрия: реалии и проблемы в ракурсе циркулярной экономики // Известия высших учебных заведений. проблемы полиграфии и издательского дела. 2021. № 2. С. 32–35.
- 3 Иринина О.И., Суховнова К.А. Экологичная посуда и упаковка для продукции массового питания: реалии и перспективы // Экономика и сервис / Economics & services. 2020. № 3. С. 65–75.
- 4 Getachew A.T., Ahmad R., Park J.S., Chun B.S. Fish skin gelatin based packaging films functionalized by subcritical water extract from spent coffee ground // Food Packaging and Shelf Life. 2021. V. 29. P. 100735. doi: 10.1016/j.fpsl.2021.100735.
- 5 Шевцова Е.В., Шалькевич П.К., Липницкий Л.А. Влияние пластика и его альтернатив на окружающую среду // Сахаровские чтения 2022 года: Экологические проблемы XXI века: материалы 22-й Международной научной конференции В 2-х частях. Часть 2. Минск, 2022. С. 335–338.
- 6 Змеев А.Д., Шершнева Д.С. Анализ видов пластиковых отходов и технологий их переработки // Молодежь. Наука. Инновации. 2021. Т. 1. С. 452–456.
- 7 TP TC 005/2011. О безопасности упаковки. М.: Таможенный союз, 2011. 35 с.
- 8 Shaikh S., Yaqoob M., Aggarwal P. An overview of biodegradable packaging in food industry // Current research in food science. 2021. № 4. P. 503–520. doi: 10.1016/j.crfs.2021.07.005
- 9 Крюк Р.В., Курбанова М.Г., Матюшев В.В., Буянова И.В. Эффективные инновационные решения в развитии упаковочных систем для пищевых продуктов // Вестник КрасГАУ. 2022. № 4. С. 181–187.
- 10 Ncube L.K., Ude A.U., Ogunmuyiwa E.N., Zulkifli R. et al. Environmental impact of food packaging materials: A review of contemporary development from conventional plastics to polylactic acid based materials // Materials. 2020. V. 13. № 21. P. 4994. doi: 10.3390/ma13214994
- 11 Narancic T., Cerrone F., Beagan N., O'Connor K.E. Recent Advances in Bioplastics: Application and Biodegradation // Polymers. 2020. V. 12(4). P. 920. doi: 10.3390/polym12040920
- 12 Namphonsane A., Suwannachai P., Chia C.H., Wongsagonsup R. et al. Toward a Circular Bioeconomy: Exploring Pineapple Stem Starch Film as a Plastic Substitute in Single Use Applications // Membranes. 2023. V. 13(5). P. 458. doi: 10.3390/membranes13050458
- 13 Rodrigues N.H.P., de Souza J.T., Rodrigues R.L., Canteri M.H.G. et al. Starch-Based Foam Packaging Developed from a By-Product of Potato Industrialization (*Solanum tuberosum* L.) // Applied Sciences. 2020. V. 10(7). P. 2235. doi: 10.3390/app10072235
- 14 Go E.-J., Song K.B. Development and Characterization of Citrus Junos Pomace Pectin Films Incorporated With Rambutan (*Nephelium lappaceum*) Peel Extract // Coatings. 2020. V. 10. № 8. P. 714. doi: 10.3390/coatings10080714
- 15 Reichert C.L., Bugnicourt E., Coltelli M.-B., Cinelli P. et al. Bio-Based Packaging: Materials, Modifications, Industrial Applications and Sustainability // Polymers. 2020. V. 12. № 7. P. 1558. doi: 10.3390/polym12071558
- 16 ООО «Астраханская фабрика тары и упаковки». О нас. Астраханская фабрика тары и упаковки. URL: <https://astratara.ru/o-nas/>
- 17 Торговая фирма "Мешкотара". "Мешкотара" Продукция. URL: <https://xn-30-6kcax4amsts7d.xn-p1ai/>
- 18 ООО ПКФ "АлМаз". Полимерное производство. URL: <http://almaz-ast.ru/polim-proizv.html>
- 19 ООО "Астра-Пак". Астра-Пак. О компании. URL: <https://astra-pack.ru/#about>
- 20 Войцеховская Е.А., Лиджи-Горяева Ю.С., Федорова Н.Г., Юницкая Т.В. Социально-экономическое положение Астраханской области. Астрахань: 2023.

References

- 1 Panasenkov E.Yu., Gruzdeva O.E., Kuznetsova M.G. The problem of using and recycling disposable plastic packaging in retail chains and public catering establishments. XXI century. Technosphere safety. 2020. no. 5(4). pp. 356–363. (in Russian).
- 2 Zolotareva V.P., Budnikova O.A. Packaging industry: realities and problems from the perspective of the circular economy // News of higher educational institutions. problems of printing and publishing. 2021. no. 2. pp. 32–35. (in Russian).
- 3 Irinina O.I., Sukhynova K.A. Eco-friendly tableware and packaging for mass food products: realities and prospects. Economics and service / Economics & services. 2020. no. 3. pp. 65–75. (in Russian).
- 4 Getachew A.T., Ahmad R., Park J.S., Chun B.S. Fish skin gelatin based packaging films functionalized by subcritical water extract from spent coffee ground. Food Packaging and Shelf Life. 2021. vol. 29. pp. 100735. doi: 10.1016/j.fpsl.2021.100735.
- 5 Shevtsova E.V., Shalkevich P.K., Lipnitsky L.A. The impact of plastic and its alternatives on the environment. Sakharov Readings 2022: Environmental problems of the 21st century: materials of the 22nd International Scientific Conference In 2 parts. Part 2. Minsk, 2022. pp. 335–338. (in Russian).
- 6 Zmееv A.D., Shershnev D.S. Analysis of types of plastic waste and technologies for their processing. Youth. The science. Innovation. 2021. vol. 1. pp. 452–456. (in Russian).
- 7 TR TS 005/2011. About packaging safety. M., Customs Union, 2011. 35 p. (in Russian).
- 8 Shaikh S., Yaqoob M., Aggarwal P. An overview of biodegradable packaging in food industry. Current research in food science. 2021. no. 4. pp. 503–520. doi: 10.1016/j.crfs.2021.07.005
- 9 Kryuk R.V., Kurbanova M.G., Matyushev V.V., Buyanova I.V. Effective innovative solutions in the development of packaging systems for food products. Bulletin of KrasGAU. 2022. no. 4. pp. 181–187. (in Russian).

- 10 Ncube L.K., Ude A.U., Ogunmuyiwa E.N., Zulkifli R. et al. Environmental impact of food packaging materials: A review of contemporary development from conventional plastics to polylactic acid based materials. *Materials*. 2020. vol. 13. no. 21. pp. 4994. doi: 10.3390/ma13214994
- 11 Narancic T., Cerrone F., Beagan N., O'Connor K.E. Recent Advances in Bioplastics: Application and Biodegradation. *Polymers*. 2020. vol. 12(4). pp. 920. doi: 10.3390/polym12040920
- 12 Namphonsane A., Suwannachai P., Chia C.H., Wongsagonsup R. et al. Toward a Circular Bioeconomy: Exploring Pineapple Stem Starch Film as a Plastic Substitute in Single Use Applications. *Membranes*. 2023. vol. 13(5). pp. 458. doi: 10.3390/membranes13050458
- 13 Rodrigues N.H.P., de Souza J.T., Rodrigues R.L., Canteri M.H.G. et al. Starch-Based Foam Packaging Developed from a By-Product of Potato Industrialization (*Solanum tuberosum* L.). *Applied Sciences*. 2020. vol. 10(7). pp. 2235. doi: 10.3390/app10072235
- 14 Go E.-J., Song K.B. Development and Characterization of Citrus Junos Pomace Pectin Films Incorporated With Rambutan (*Nephelium lappaceum*) Peel Extract. *Coatings*. 2020. vol. 10. no. 8. pp. 714. doi: 10.3390/coatings10080714
- 15 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
- 16 LLC "Astrakhan Container and Packaging Factory" About Us. Astrakhan container and packaging factory. Available at: <https://astratara.ru/o-nas/> (in Russian).
- 17 Trading company "Meshkotara". "Meshkotara" Products. Available at: <https://xn30-6kcx4amsts7d.xn-p1ai/> (in Russian).
- 18 LLC PKF "AlMaz". Polymer production. Available at: <http://almaz-ast.ru/polim-proizv.html> (in Russian).
- 19 Astra-Pak LLC. Astra-Pak. About company. Available at: <https://astra-pack.ru/#about> (in Russian).
- 20 Voitsekhovskaya E.A., Lidzhi-Goryaeva Yu.S., Fedorova N.G., Yunitskaya T.V. Socio-economic situation of the Astrakhan region. Astrakhan, 2023. (in Russian).

Сведения об авторах

Данил В. Олдырев аспирант, кафедра технологии товаров и товароведения, Астраханский государственный технический университет, ул. Татищева, 16, корп. 2, г. Астрахань, 414056, Россия, danieloldyrev@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-2431-611X>

Наталья В. Ярцева к.т.н., старший преподаватель, кафедра технологии товаров и товароведения, Астраханский государственный технический университет, ул. Татищева, 16, корп. 2, г. Астрахань, 414056, Россия, n.v.yartseva@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8511-3236>

Ольга Д. Сергازиева к.с.-х.н., доцент, факультет биотехнологии и рыбного хозяйства, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет), ул. Земляной Вал, д. 73, г. Москва, 109004, Россия, ahiles-7575@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2122-1318>

Анна А. Бахарева д.с.-х.н., профессор, факультет биотехнологии и рыбного хозяйства, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет), ул. Земляной Вал, д. 73, г. Москва, 109004, Россия, bahareva.anya@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7724-2425>

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

Danil V. Oldyrev graduate student, technology of the goods and commodity research department, Astrakhan State Technical University, 16 Tatischeva St., Bld. 2, Astrakhan, 414056, Russia, danieloldyrev@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-2431-611X>

Natalia V. Yartseva Cand. Sci. (Engin.), senior lecturer, technology of the goods and commodity research department, Astrakhan State Technical University, 16 Tatischeva St., Bld. 2, Astrakhan, 414056, Russia, n.v.yartseva@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8511-3236>

Olga D. Sergazieva Cand. Sci. (Agric.) associate professor, faculty of biotechnology and fishery, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technology and Management (First Cossack University), Zemlyanoy Val St., 73, Moscow, 109004, Russia, ahiles-7575@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2122-1318>

Anna A. Bakhareva Dr. Sci. (Agric.), professor, faculty of biotechnology and fishery, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technology and Management (First Cossack University), Zemlyanoy Val St., 73, Moscow, 109004, Russia, bahareva.anya@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7724-2425>

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 22/03/2023	После редакции 11/04/2023	Принята в печать 03/05/2023
Received 22/03/2023	Accepted in revised 11/04/2023	Accepted 03/05/2023

Сравнение эффективности иммобилизации катионов на поверхности биополимерного носителя с целью использования полученной композиции в технологии хлебобулочных изделий

Мартин А. Саргсян¹ mrmartinok@mail.ru  0000-0002-3786-1088
Елена В. Белокурова¹ zvezdamal@mail.ru  0000-0002-1955-8376

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

Аннотация. Разработка и оптимизация рецептов хлебобулочных изделий, подходящих для использования в рамках корректирующей диеты актуальна в регионах с выявленным дисбалансом необходимых для жизни нутриентов. В настоящее время наиболее часто обогащение производится путем внесения раствора необходимого компонента в блюдо на этапе приготовления, либо же на этапе производства компонентов пищи. В целях увеличения сохраняемости вносимой фазы закрепление необходимого эссенциального элемента производилось путем проведения физической иммобилизации на поверхности биополимерных носителей. В качестве элементов выступали магний, цинк и никель. Носителями выбраны природные сорбенты хитозан и целлюлоза. Растворы соединений элементов перемешивались с носителями на протяжении 30 минут, после чего настаивались в течение 24 часов. Полученная композиция отфильтровывалась и на основании разницы концентрации исходных растворов по отношению к фильтрату формировался вывод об эффективности протекания иммобилизации. В результате определения установлено успешное закрепление на поверхности хитозана соединений таких элементов, как Zn и Ni. Целлюлоза продемонстрировала слабое удержание иммобилизуемых компонентов, следовательно слабую механическую прочность в указанных условиях. По результатам исследования сформированы выводы об эффективности выбранных носителей.

Ключевые слова: эссенциальные элементы, иммобилизация, биополимерный носитель, магний, цинк, никель.

Comparison of the effectiveness of immobilization of cations on the surface of a polymer carrier in order to use the resulting composition in the technology of bakery products

Martin A. Sargsyan¹ mrmartinok@mail.ru  0000-0002-3786-1088
Elena V. Belokurova¹ zvezdamal@mail.ru  0000-0002-1955-8376

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

Abstract. In regions with an identified imbalance of nutrients necessary for life, the development and optimization of recipes for flour products is relevant. Basically, enrichment is carried out by adding a solution of the necessary component to a dish or enriching food components at the growth stage. In order to increase the safety of the introduced phase, the fixation was carried out by physical immobilization on the surface of biopolymer spouts. The elements were magnesium, zinc and nickel. Natural sorbents chitosan and cellulose were chosen as carriers. The solutions of the compounds of the elements were mixed with the carriers for 30 minutes, after which they were infused for 24 hours. The resulting composition was filtered out and based on the difference in the concentration of the initial solutions with respect to the filtrate, a conclusion was formed about the effectiveness of the immobilization process. As a result of the determination, the successful fixation of a zinc and nickel compound on the chitosan surface was established. Cellulose demonstrated weak retention of immobilized components. The reason for this is the weak mechanical strength of the selected conditions. Based on the results of the study, conclusions were formed about the effectiveness of the selected carriers.

Keywords: essential elements, immobilization, biopolymer carrier, magnesium, zinc, nickel.

Введение

Сбалансированное питание является одним из важнейших принципов здорового образа жизни. Однако, региональные особенности территории производства продуктов питания, а также влияние антропогенного фактора на окружающую среду способны воздействовать на итоговый нутриентный состав готовой продукции. При этом, длительный и регулярный

дисбаланс потребляемых компонентов пищи может привести к развитию ряда осложнений, в том числе авитаминозов и микроэлементозов. В результате выявленного у человека острого дисбаланса эссенциальных элементов необходима коррекция рациона питания. Стоит помнить, что любой компонент пищи, употребляемый в избыточном количестве, оказывает на организм

Для цитирования

Саргсян М.А., Белокурова Е.В. Сравнение эффективности иммобилизации катионов на поверхности биополимерного носителя с целью использования полученной композиции в технологии хлебобулочных изделий // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 2. С. 91–95. doi:10.20914/2310-1202-2023-2-91-95

For citation

Sargsyan M.A., Belokurova E.V. Comparison of the effectiveness of immobilization of cations on the surface of a polymer carrier in order to use the resulting composition in the technology of bakery products. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 2. pp. 91–95. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-2-91-95

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

токсическое воздействие. Поэтому необходимость в подобной коррекции питания может возникнуть только после установленной этиологии связанной с гипо- или гиперэлементозами и витаминозами [1–3].

Широкая общественность в меньшей мере проинформирована о том, что дефицит питательных микроэлементов является признанной проблемой глобального общественного здравоохранения, наряду с дефицитом витаминов. Хорошо известно, что малообеспеченные слои населения с нарушенным питанием подвержены более высокому риску инфицирования из-за дефицита макро- и микронутриентов. Недостаточное поступление эссенциальных микроэлементов с пищевыми продуктами и питьевой водой, может способствовать снижению рождаемости и увеличению смертности от заболеваний, связанных с нарушением питания, что становится актуальной проблемой человечества [4–7].

Среди способов решения проблемы микроэлементозов можно отметить обогащение пищевых продуктов необходимыми нутриентами. В настоящее время наиболее часто обогащение производится путем внесения раствора необходимого компонента в блюдо на этапе приготовления. Помимо этого, применяется так же обогащение на этапе производства компонентов пищи. Применение метода иммобилизации необходимых микроэлементов на поверхности биополимерного носителя может позволить увеличить сохраняемость вносимой фазы [8–10].

В связи с этим актуальным в современной пищевой промышленности представляется научно-практическое направление, связанное с разработкой и оптимизацией рецептур мучных изделий, подходящих для использования в рамках корректирующей диеты.

Цель работы – проведение иммобилизации эссенциальных микроэлементов на биополимерном носителе и количественное определение сохраняемого на поверхности носителя компонента.

Материалы и методы

В качестве вносимой фазы были выбраны макроэлемент магний и микроэлемент цинк. Впоследствии, с целью сравнения также был использован неэссенциальный никель. Для наглядности протекания процесса сорбции использовались растворы с высокой концентрацией вносимого вещества. Были приготовлены 0,05 моль/дм³ растворы сульфата магния, сульфата цинка и хлорида никеля.

Производился физический метод иммобилизации. В качестве носителей выступали

хитозан и целлюлоза. Предполагался механизм поверхностной адсорбционной иммобилизации соединения вносимых элементов [11].

Процесс иммобилизации представлял собой приготовление растворов вносимого элемента, перемешивание с носителем в следующем соотношении: на 100 мл раствора элемента брался $2,000 \pm 0,001$ грамма сорбента. После чего производится 30 минутное перемешивание на лабораторном шейкере ПЭ-6410. Готовая проба закрывается пробкой и остается настаиваться 24 часа в условиях комнатной температуры, без доступа прямых лучей света.

Полученный продукт через 24 часа отфильтровывался через беззольный фильтр. Далее производилось высушивание в сушильном шкафу ES-4610 на протяжении 1 часа при температуре в 100–150 °С до постоянной массы. В случае необходимости сушка продолжалась. Подразумевается внедрение готового носителя с элементами в рецептуры хлебобулочных изделий на этапе замеса теста. Хранить готовую композицию необходимо в сухом, защищенном от света, недоступном для детей месте при температуре не выше 25 °С.

Определение количества сохраняемого на носителе элемента производилось путем исследования фильтрата, остающегося после 24 часовой выдержки сорбента. На основании разницы в концентрации между исходным раствором и раствором фильтрата был сделан вывод об эффективности иммобилизации.

За основу определения взят комплексометрический метод определения содержания основного вещества. В качестве установочного вещества использовался приготовленный из фиксанала раствор ЭДТА, 0,05 моль/дм³. Исходные растворы солей прошли стандартизацию по данному раствору ЭДТА. Далее, в колбу коническую отбирали 25 мл пробы фильтрата, титрование проводили в присутствии аммиачного буфера и индикатора эриохрома черного или мурексида, в зависимости от определяемого элемента. Расчет итоговой концентрации производился согласно закону эквивалентов [12–20].

Результаты и обсуждение

По результатам трех титрований для каждого элемента определялось среднее значение, исходя из которого и производился расчет концентрации. Концентрация исходных растворов составляла: 0,05 моль/дм³ для сульфата магния, 0,048 моль/дм³ для сульфата цинка и 0,05 моль/дм³ для хлорида никеля.

Таблица 1.

Объем ЭДТА ушедший на титрование фильтратов сорбентов

Table 1.

The volume of EDTA spent on titration of sorbent filtrates

Носители Carrier	Объем, ушедший на титрование, мл Volume spent on titration, ml		
	MgSO ₄	ZnSO ₄	NiCl
Хитозан Chitosan	25,0	10,8	16,2
Целлюлоза Cellulose	25,0	25,0	24,9

Анализ результатов демонстрирует практически полное отсутствие сохранения соединения элементов на поверхности целлюлозы. Данное явление, вероятно, обусловлено не специфичностью, а также низкой механической прочностью целлюлозы в выбранных условиях. Полученные значения позволяют сделать вывод о неэффективности дальнейшего использования целлюлозы в качестве носителя выбранных элементов.

Согласно зафиксированным результатам, хитозан успешно справился с сорбцией соединений цинка и никеля, при этом полностью не адсорбировав соединение магния. Предположением причины эффективности закрепления катионов, расположенных в электрохимическом ряду напряжения после Mg, может быть увеличение окислительной способности данных элементов. Потенциально – молекулы, образованные из элементов от Mg и левее, менее реакционно-способны. Однако, данное заключение объективно только, в случае фиксации протекания реакции. Первоначально, в выбранных условиях не подразумевалось протекания реакции, несмотря на высокую активность хитозана, имеющего в своем строении мономерного звена аминогруппы. Данный вопрос требует дальнейшего изучения, с целью определения точного механизма протекания сорбции.

С учетом изначальной концентрации раствора цинка, предполагаемая разница в концентрации ZnSO₄, после сорбции на поверхности хитозана, должна составлять ~ 0,027 моль/дм³.

Согласно описанным выше результатам, приблизительное процентное соотношение сохраняемого сульфата цинка на хитозане должно составлять порядка 56% от исходного раствора.

С учетом изначальной концентрации раствора никеля, предполагаемая разница в концентрации NiCl, после сорбции на поверхности хитозана, должна составлять ~ 0,032 моль/дм³. Согласно описанным выше результатам, приблизительное процентное соотношение сохраняемого сульфата цинка на хитозане должно составлять порядка 36% от исходного раствора (таблица 1).

Заключение

Установлено успешное закрепление на поверхности хитозана, соединения таких элементов, как Zn, Ni. Иммобилизация соединения Mg не дала удовлетворительных результатов на обоих носителях. Необходимо удостовериться в механизме протекания сорбции. Поэтому, в дальнейшем необходимо построение изотермы сорбции хитозана, для получения достоверного результата механизмов иммобилизации и определения рабочего диапазона концентрации элемента.

Полученные результаты показывают перспективность использования хитозана в качестве носителя эссенциальных элементов. Готовая композиция будет использована в оптимизации рецептур и расширении ассортимента хлебобулочных изделий за счет увеличения их пищевой ценности.

Литература

- 1 Venkatesh U., Sharma A., Ananthan V., Subbiah P. et al. Micronutrient's deficiency in India: A systematic review and meta-analysis // Journal of Nutritional Science. 2021. V. 10. P. E110. doi:10.1017/jns.2021.102
- 2 Hicks C.C., Cohen P.J., Graham N.A.J. et al. Harnessing global fisheries to tackle micronutrient deficiencies // Nature. 2019. V. 574. №. 7776. P. 95-98. doi: 10.1038/s41586-019-1592-6
- 3 Stevens G.A., Beal T., Mbuya M.N., Luo H. et al. Micronutrient deficiencies among preschool-aged children and women of reproductive age worldwide: a pooled analysis of individual-level data from population-representative surveys // The Lancet Global Health. 2022. V. 10. №. 11. P. e1590-e1599. doi: 10.1016/S2214-109X(22)00367-9.
- 4 Cantwell-Jones A., Ball J., Collar D. et al. Global plant diversity as a reservoir of micronutrients for humanity // Nature Plants. 2022. V. 8. №. 3. P. 225-232. doi: 10.1038/s41477-022-01100-6
- 5 Vilar-Compte M., Burrola-Méndez S., Lozano-Marrufo A., Ferré-Eguiluz I. et al. Urban poverty and nutrition challenges associated with accessibility to a healthy diet: a global systematic literature review // International Journal for Equity in Health. 2021. V. 20. P. 1-19. doi: 10.1186/s12939-020-01330-0
- 6 Горбачев А.Л. Проблемные вопросы минерального обмена у жителей арктических территорий // Научный медицинский вестник Югры. 2022. Т. 31. № 1. С. 52–61. doi: 10.25017/2306-1367-2022-31-1-52-61

- 7 Сальникова Е.В., Бурцева Т.И., Скальный А.В. Региональные особенности содержания микроэлементов в биосфере и организме человека // Гигиена и санитария. 2019. Т. 98. № 2. С. 148–152. doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-2-148-152
- 8 Пат. № 2701647, RU, A23L 7/10, A23L 7/20. Способ обогащения солода селеном / Франтенко В.К., Капурба Т.В. № 2019122128; Заявл. 15.07.2019; Оpubл. 30.09.2019.
- 9 Пат. № 2676954, RU, A23C 9/12, A23C 9/142. Способ производства синбиотического продукта, обогащенного витаминно-минеральными комплексами / Донских А.Н., Анисимов Г.С., Артамонов И.Б., Медвецкая А.В. № 2017125743; Заявл. 18.07.2017; Оpubл. 11.01.2019.
- 10 Пат. № 2765999, RU, A23L 33/16, A23L 33/165. Биологически активная добавка к пище, содержащая неионные формы йода и селена / Ариповский А.В., Гриневская Е.М., Дельцов А.А., Шантыз А.Х. № 2021119005; Заявл. 29.06.2021; Оpubл. 07.02.2022.
- 11 Белокурова Е.В., Саргсян М.А. Выбор носителя для проведения физической иммобилизации микроэлементов на его поверхности // Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение: сборник научных статей и докладов IX Международной научно-практической конференции, Воронеж, 15–17 декабря 2022 года. Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2023. С. 288–291.
- 12 Белокурова Е.В., Саргсян М.А. Возможности и условия сорбционной иммобилизации микроэлементов, для последующего применения в пищевой промышленности // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2022. № 4. С. 142–147.
- 13 ГОСТ 10398–76. Реактивы и особо чистые вещества. Комплексонометрический метод определения содержания основного вещества (с Изменениями № 1, 2, 3). Москва: Стандартинформ, 2018. 18 с.
- 14 Rustemova A., Kydyraliev N., Kirillova T., Sadygova M. et al. Modeling of recipes of special purpose bakery products // BIO Web of Conferences. EDP Sciences, 2020. V. 27. P. 00017.
- 15 Hecker F.T., Hussein W.B., Paquet-Durand O., Hussein M.A. et al. A case study on using evolutionary algorithms to optimize bakery production planning // Expert Systems with Applications. 2013. V. 40. №. 17. P. 6837-6847. doi: 10.1016/j.eswa.2013.06.038
- 16 Zhuravlev A.A., Lukina S.I., Ponomareva E.I., Roslyakova K.E. et al. Optimization of technological parameters of preparation of dough for rusks of high nutrition value // Foods and Raw materials. 2017. V. 5. №. 1. P. 73-80.
- 17 Krivosheev A.Y., Ponomareva E.I., Zhuravlev A.A., Lukina S.I. et al. Modeling and optimization of dough recipe for breadsticks // Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2018. V. 1015. №. 3. P. 032105. doi: 10.1088/1742-6596/1015/3/032105
- 18 Ureta M.M., Olivera D.F., Salvadori V.O. Baking of muffins: Kinetics of crust color development and optimal baking time // Food and bioprocess technology. 2014. V. 7. P. 3208-3216.
- 19 Draz M.E., Saad A.S., El Sherbiny D., Wahba M.E. Experimentally designed potentiometric sensor for green real-time and direct assay of hazardous bromate in bakery products // Food Chemistry. 2023. V. 406. P. 135042. doi: 10.1016/j.foodchem.2022.135042
- 20 Szydłowska-Czerniak A., Poliński S., Momot M. Optimization of ingredients for biscuits enriched with rapeseed press cake—Changes in their antioxidant and sensory properties // Applied Sciences. 2021. V. 11. №. 4. P. 1558.

References

- 1 Venkatesh U., Sharma A., Ananthan V., Subbiah P. et al. Micronutrient's deficiency in India: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Nutritional Science*. 2021. vol. 10. pp. E110. doi:10.1017/jns.2021.102
- 2 Hicks C.C., Cohen P.J., Graham N.A.J. et al. Harnessing global fisheries to tackle micronutrient deficiencies. *Nature*. 2019. vol. 574. no. 7776. pp. 95-98. doi: 10.1038/s41586-019-1592-6
- 3 Stevens G.A., Beal T., Mbuya M.N., Luo H. et al. Micronutrient deficiencies among preschool-aged children and women of reproductive age worldwide: a pooled analysis of individual-level data from population-representative surveys. *The Lancet Global Health*. 2022. vol. 10. no. 11. pp. e1590-e1599. doi: 10.1016/S2214-109X(22)00367-9
- 4 Cantwell-Jones A., Ball J., Collar D. et al. Global plant diversity as a reservoir of micronutrients for humanity. *Nature Plants*. 2022. vol. 8. no. 3. pp. 225-232. doi: 10.1038/s41477-022-01100-6
- 5 Vilar-Compte M., Burrola-Méndez S., Lozano-Marrufo A., Ferré-Eguiluz I. et al. Urban poverty and nutrition challenges associated with accessibility to a healthy diet: a global systematic literature review. *International Journal for Equity in Health*. 2021. vol. 20. pp. 1-19. doi: 10.1186/s12939-020-01330-0
- 6 Gorbachev A.L. Problematic issues of mineral metabolism among residents of the Arctic territories. *Scientific Medical Bulletin of Ugra*. 2022. vol. 31. no. 1. pp. 52–61. doi: 10.25017/2306-1367-2022-31-1-52-61 (in Russian).
- 7 Salnikova E.V., Burtseva T.I., Skalny A.V. Regional features of the content of microelements in the biosphere and the human body. *Hygiene and Sanitation*. 2019. vol. 98. no. 2. pp. 148–152. doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-2-148-152 (in Russian).
- 8 Frantenko V.K., Katsurba T.V. Method for enriching malt with selenium. Patent RF, no. 2701647, 2019.
- 9 Donskikh A.N., Anisimov G.S., Artamonov I.B., Medvetskaya A.V. Method for producing a synbiotic product enriched with vitamin-mineral complexes. Patent RF, no. 2676954, 2019.
- 10 Aripovsky A.V., Grinevskaya E.M., Deltsov A.A., Shantyz A.Kh. Biologically active food supplement containing nonionic forms of iodine and selenium. Patent RF, no. 2765999, 2022.
- 11 Belokurova E.V., Sargsyan M.A. Selection of a carrier for physical immobilization of microelements on its surface. *Food security: scientific, personnel and information support: collection of scientific articles and reports of the IX International Scientific and Practical Conference, Voronezh, December 15–17, 2022. Voronezh, Voronezh State University of Engineering Technologies*, 2023. pp. 288–291. (in Russian).

12 Belokurova E.V., Sargsyan M.A. Possibilities and conditions for sorption immobilization of microelements for subsequent use in the food industry. Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex - healthy food products. 2022. no. 4. pp. 142–147. (in Russian).

13 GOST 10398–76. Reagents and highly pure substances. Complexometric method for determining the content of the main substance (with Amendments No. 1, 2, 3). Moscow, Standardinform, 2018. 18 p. (in Russian).

14 Rustemova A., Kydyraliev N., Kirillova T., Sadygova M. et al. Modeling of recipes of special purpose bakery products. BIO Web of Conferences. EDP Sciences, 2020. vol. 27. pp. 00017.

15 Hecker F.T., Hussein W.B., Paquet-Durand O., Hussein M.A. et al. A case study on using evolutionary algorithms to optimize bakery production planning. Expert Systems with Applications. 2013. vol. 40. no. 17. pp. 6837–6847. doi: 10.1016/j.eswa.2013.06.038

16 Zhuravlev A.A., Lukina S.I., Ponomareva E.I., Roslyakova K.E. et al. Optimization of technological parameters of preparation of dough for rusks of high nutrition value. Foods and Raw materials. 2017. vol. 5. no. 1. pp. 73–80.

17 Krivosheev A.Y., Ponomareva E.I., Zhuravlev A.A., Lukina S.I. et al. Modeling and optimization of dough recipe for breadsticks. Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2018. vol. 1015. no. 3. pp. 032105. doi: 10.1088/1742-6596/1015/3/032105

18 Ureta M.M., Olivera D.F., Salvadori V.O. Baking of muffins: Kinetics of crust color development and optimal baking time. Food and bioprocess technology. 2014. vol. 7. pp. 3208–3216.

19 Draz M.E., Saad A.S., El Sherbiny D., Wahba M.E. Experimentally designed potentiometric sensor for green real-time and direct assay of hazardous bromate in bakery product. Food Chemistry. 2023. vol. 406. pp. 135042. doi: 10.1016/j.foodchem.2022.135042

20 Szydłowska-Czerniak A., Polinski S., Momot M. Optimization of ingredients for biscuits enriched with rapeseed press cake—Changes in their antioxidant and sensory properties. Applied Sciences. 2021. vol. 11. no. 4. pp. 1558.

Сведения об авторах

Мартин А. Саргсян аспирант, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, mrmartinok@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-3786-1088>

Елена В. Белокурова к.т.н., доцент, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, zvezdamal@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-1955-8376>

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

Martin A. Sargsyan graduate student, service and restaurant business department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, mrmartinok@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3786-1088>

Elena V. Belokurova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, service and restaurant business department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, zvezdamal@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1955-8376>

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 10/03/2023	После редакции 28/03/2023	Принята в печать 18/04/2023
Received 10/03/2023	Accepted in revised 28/03/2023	Accepted 18/04/2023

Влияние индивидуальной упаковки на сохраняемость эмульсионных пищевых продуктов

Ольга В. Феофилактова¹ feofiov@usue.ru  0000-0003-1210-0845
Владислав В. Лабетский¹ vladislav.labetskiy@mail.ru  0000-0001-9240-3314

¹ Уральский государственный экономический университет, ул. 8 Марта/Народной воли, 62/45, г. Екатеринбург, 620144, Россия

Аннотация. В статье представлены результаты анализа степени устойчивости майонеза к окислительной порче в зависимости от комбинации полимерных пленок, используемых в упаковке дой-пак, и режимов его хранения. Объектом исследования являлся майонез с массовой долей жира 67%. В ходе исследований использовали упаковку с комбинацией пленок PET12/PE90; PET12/PE100; PET12/PE110; PET12/PE120; PET12/PE130; PET12/PE_VBS120; ПЭТФп12/ПЭ120; RETФп12/PE_VBS120, в том числе с «прозрачным окном». Степень окислительной порчи контролировалась с помощью показателя «Перекисное число», значения которого определялись стандартным методом на протяжении 120 суток хранения с периодичностью в 15 суток. Устойчивость к окислительной порче майонеза определяли в диапазонах температур от +10 до +15°C; от +15 до +25°C и от +25 до +30°C. Результаты исследования показали, что устойчивость майонеза к окислительной порче находится в прямой зависимости от толщины упаковочного материала - чем меньше толщина полиэтилена, тем выше значения перекисного числа. Комбинация пленок PET12/PE120, используемая для упаковки майонеза, способна обеспечить соответствие регламентируемым нормам по показателю «Перекисное число» во всех трех исследуемых диапазонах температур с разной продолжительностью: в интервале от +25 до +30°C на протяжении 45 суток, от +15 до +25°C - на протяжении 60 суток, а при температуре от +10 до +15°C на протяжении 90 суток. Использование высокобарьерных материалов для упаковки майонеза позволяет в 2 и более раза снизить интенсивность процесса окислительной порчи и тем самым увеличить сроки его годности. Наличие в дизайне упаковочного материала «прозрачного окна» не оказывает существенного влияния на интенсивность окислительных процессов и сохраняемость майонеза.

Ключевые слова: перекисное число, двухслойные плёнки, майонез, сохраняемость, дой-пак, окислительная порча.

Effect of individual packaging to preserve emulsion foods

Olga V. Feofilaktova¹ feofiov@usue.ru  0000-0003-1210-0845
Vladislav V. Labetsky¹ vladislav.labetskiy@mail.ru  0000-0001-9240-3314

¹ Ural State University of Economics, st. March 8, 62, Yekaterinburg, 620144, Russia

Abstract. The article presents the results of the analysis of the rate of mayonnaise resistance to oxidative poisoning, depending on the combination of polymer films used in doypack packaging, and its storage modes. The object of the study was mayonnaise with a mass fraction of fat of 67%. In the course of the studies, packaging with a combination of PET12/PE90 films was used; PET12/PE100; PET12/PE110; PET12/PE120; PET12/PE130; PET12/RE_VBS120; PETp12/PE120; RETFp12/RE_VBS120, including those with a "transparent window". The rate of oxidative poisoning was controlled using the indicator "Peroxide number", the values of which were determined by the standard method for 120 days of storage with a frequency of 15 days. Resistance to oxidative poisoning of mayonnaise was determined in the temperature range from +10 to +15°C; from +15 to +25°C and from +25 to +30°C. The results of the study showed that the resistance of mayonnaise to oxidative poisoning is directly dependent on the thickness of the packaging material - the smaller the thickness of the polyethylene, the higher the peroxide value. The combination of PET12/PE120 films used for packaging mayonnaise is able to ensure compliance with the regulated standards in terms of "Peroxide number" in all three studied temperature ranges with different durations: in the range from +25 to +30°C for 45 days, from +15 up to +25°C - for 60 days, and at a temperature from +10 to +15°C for 90 days. The use of high-barrier materials for packing mayonnaise makes it possible to reduce the intensity of the oxidative poisoning process by a factor of 2 or more and thereby increase its shelf life. The presence of a "transparent window" in the design of the packaging material does not significantly affect the intensity of oxidative processes and the shelf life of mayonnaise.

Keywords: peroxide value, two-layer films, mayonnaise, keeping quality, doypack, oxidative spoilage.

Введение

Эффективная и доступная упаковка является одним из факторов, сохраняющих качество пищевых продуктов. Основное ее назначение заключается в том, чтобы довести пищевой продукт до конечного потребителя без изменения

качественных и количественных характеристик, сформированных на этапе производства. Упаковка наряду с условиями хранения и транспортирования, способами консервирования пищевых продуктов определяет сроки их годности.

Для цитирования

Феофилактова О.В., Лабетский В.В. Влияние индивидуальной упаковки на сохраняемость эмульсионных пищевых продуктов // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 2. С. 96–102. doi:10.20914/2310-1202-2023-2-96-102

For citation

Feofilaktova O.V., Labetsky V.V. Effect of individual packaging to preserve emulsion foods. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 2. pp. 96–102. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-2-96-102

Вид материалов, применяемых для упаковки, определяется свойствами конкретного пищевого продукта, а также условиями его хранения и транспортирования [1–3].

Изготовители пищевых продуктов заинтересованы в выходе на новый качественный уровень за счет применения высококачественной современной упаковки с целью максимального сохранения потребительских свойств своей продукции. В настоящее время наблюдается развитие современных высокоэффективных технологических решений в производстве полимерных материалов, позволяющих изготавливать упаковочные материалы с заданными эксплуатационными, потребительскими и экологическими свойствами [4, 5].

За счет ряда преимуществ полимерной упаковки, таких как прочность, влагостойкость, легкость, высокая технологичность, ее производство и применение пищевыми предприятиями неуклонно растет, и данная тенденция сохранится еще на многие годы [6].

За счет своей универсальности, функциональности и эргономичности особый интерес в последние годы вызывает многослойная упаковка для пищевых продуктов. Она сочетает в себе свойства каждого отдельного слоя, характеризуется улучшенными барьерными характеристиками и при этом механической целостностью [7–9].

Одним из наиболее распространенных видов современной упаковки для эмульсионных соусов, майонезов, майонезных соусов и пр. является дой-пак – особый вид гибкой герметичной упаковки, представляющей собой сформированный пакет из полимерных пленок в различных комбинациях.

Применение полимерных пленок позволяет увеличить срок хранения эмульсионных соусов и обеспечить их защиту от воздействия негативных факторов окружающей среды.

Полимерные пленки различают по составу и комбинации материалов на пленки с низкими и высокими барьерными свойствами. Высокобарьерные пленки производятся из нескольких слоев полимера, обеспечивая абсолютную газонепроницаемость упаковки [11–12].

К пленкам с высокими барьерными свойствами относят дуплексные (двухслойные) пленки, которые состоят из внутреннего полиэтиленового (PE) и наружного лавсанового (PET) слоев.

Полиэтилен за счет применения технологии сваривания швов обеспечивает герметичность, а наружный лавсановый слой используется для нанесения печатных изображений. Срок хранения продуктов в такой упаковке составляет от трех до шести месяцев. Из дуплексных (двухслойных)

пленок наиболее распространены следующие комбинации: PET12/PE100; PET12/PE110; PET12/PE120 (цифровые индексы указывают на толщину пленки в мкм) [13–16].

Высокими барьерными свойствами характеризуются также трехслойные пленки, в которых используется промежуточный металлизированный полипропиленовый слой, препятствующий проникновению света и влаги и обеспечивающий дополнительную защиту продукта от воздействия факторов окружающей среды. Срок годности продукции при этом увеличивается до 1 года. Трехслойная пленка существенно дороже двухслойной пленки, поэтому чаще всего она используется при производстве продуктов премиальных брендов и экспортной продукции [17–21].

Известно, что окислительные изменения, происходящие в жирах, определяются количественно, показателем которых служит перекисное число. Значение перекисного числа показывает степень присутствия в продукте первичных продуктов окисления – перекисей и гидроперекисей, существенно не влияющих на органолептические свойства. В связи с чем значение перекисного числа свидетельствует об окислительной порче продукта еще до появления вкуса и запаха, свойственных прогорклому жиру.

Использование многослойных полимерных пленок способно сдерживать процесс окислительной порчи жиров, содержащихся в значительном количестве в эмульсионных пищевых продуктах, в т. ч. майонезах, и повлиять на их сохраняемость.

Цель работы – изучение зависимости изменения перекисного числа майонеза от комбинации полимерных пленок и режимов хранения.

Материалы и методы

Объектом исследования выступал майонез жирностью 67 %, расфасованный в упаковку дой-пак с различными комбинациями пленок: PET12/PE90; PET12/PE100; PET12/PE110; PET12/PE120; PET12/PE130; PET12/PE_ВБС120 (наружный слой – пленка с высокобарьерными свойствами за счет применения полиамида или этилен-винилового спирта); ПЭТФп12/ПЭ120 (внутренний слой – фольгированный полиэтилен); PETФп12/PE_ВБС120 (фольгированный полиэтилен в комбинации с пленкой с высокобарьерными свойствами).

Образцы хранили в течение 120 суток в следующих диапазонах температур: от + 10 до +15 °С; от +15 до +25 °С; от +25 до +30 °С.

Перекисное число определяли йодометрическим методом по ГОСТ 31762–2012 с периодичностью в 15 суток.

Результаты

На первом этапе исследования определяли динамику значений перекисного числа майонеза, упакованного в дой-пак с различной

толщиной наружного слоя пленки (90, 100, 110, 120, и 130 мкм), хранившегося в диапазоне температур от +10 до +15 °С. Результаты представлены на рисунке 1.

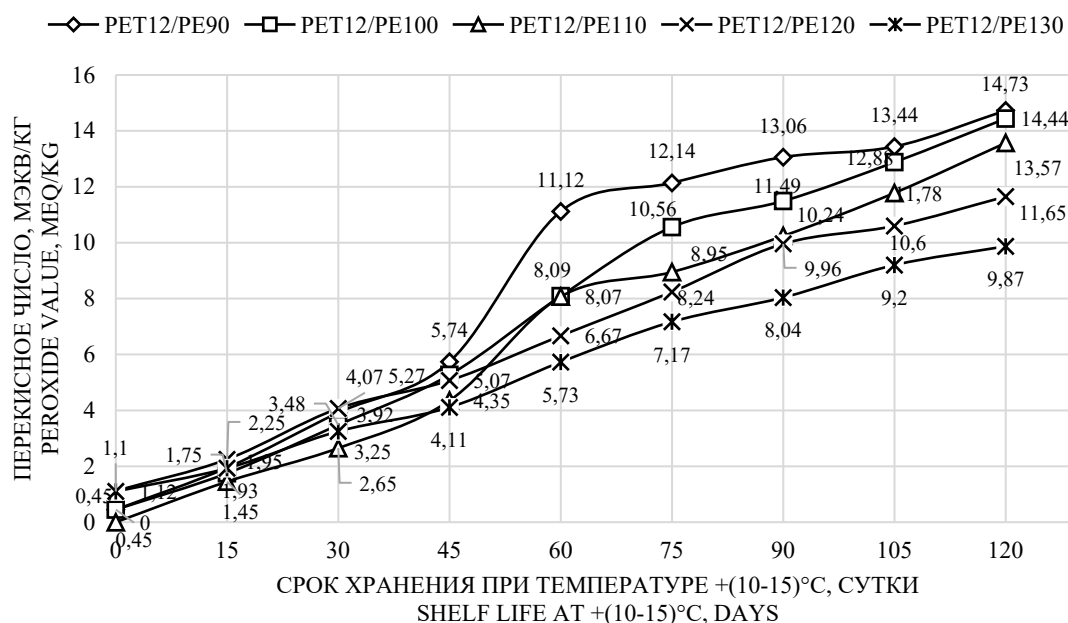


Рисунок 1. Изменение значений перекисного числа майонеза в зависимости от вида используемой упаковки и продолжительности хранения при температуре от +10 до +15 °С

Figure 1. Changes in peroxide values depending on the type of packaging used and the duration of storage at temperatures from + 10 to + 15 °С

Из представленного графика видно, что значения перекисного числа стабильно увеличиваются примерно с одинаковым темпом с даты производства майонеза до 45 суток хранения для всех комбинаций пленок в упаковке. На 60 суток хранения произошло значительное увеличение перекисного числа у майонеза, расфасованного в упаковку с толщиной наружного слоя 90 мкм и 110 мкм. Учитывая, что регламентируемое значение перекисного числа составляет не более 10 мэкв/кг, у майонеза, упакованного в пленку с толщиной наружного слоя 90 мкм на 60 суток хранения уже отмечалось несоответствие требованиям. У майонеза, упаковка которого состояла из пленки PET12/PE100, превышение нормативных значений наблюдалось на 75 суток, а из пленки PET12/PE110 на 90 суток. Наибольшими защитными свойствами от окислительной порчи характеризовались пленки PET12/PE120 и PET12/PE130, причем значение перекисного числа для майонеза, упакованного с использованием пленки с максимальной толщиной наружного слоя среди исследуемых не превышало норму на всем периоде хранения.

Наиболее распространенной комбинацией пленок для упаковки майонезов и майонезных соусов исходя из соотношения цена-эффективность является PET12/PE120. В связи с этим далее были проведены исследования устойчивости майонеза к окислительной порче, упаковка которого состояла из данной комбинации пленок, в различных температурных режимах в условиях «теплой полки» (рисунок 2).

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о том, что данная комбинация пленок, используемая в упаковке майонеза, способна обеспечить защиту от окисления во всех трех диапазонах температур на протяжении 45 суток хранения. При температуре от +15 до +25 °С упаковка с данной комбинацией пленок защищает продукт от окисления на протяжении 60 суток, а при температуре +10 до +15 °С на протяжении 90 суток.

Для обеспечения продукту стабильности к окислительной порче более продолжительное время в составе упаковки используются высокобарьерные (ВБС) плёнки.

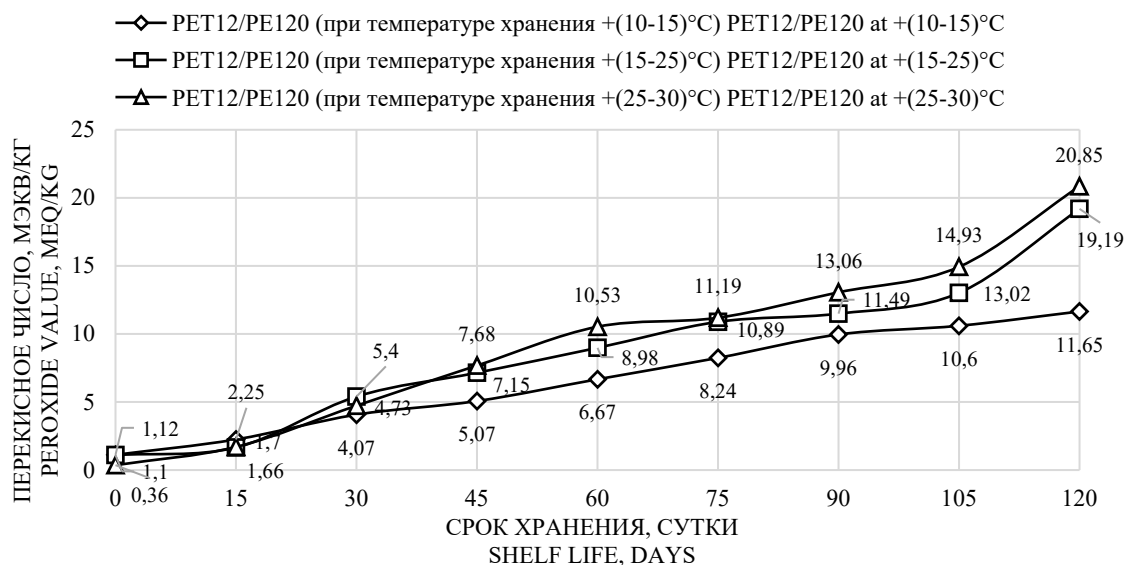


Рисунок 2. Динамика значений перекисного числа майонеза, упакованного в дой-пак из дуплексной пленки PET12/PE120 в зависимости от температуры и продолжительности хранения

Figure 2. Dynamics of the values of the peroxide value of mayonnaise, packed in a doypack made of duplex PET12/PE120 film, depending on the temperature and duration of storage

На рисунке 3 представлена динамика изменения показателя перекисное число майонеза, упакованного в дой-пак из следующих материалов PET12/PE120, PETФп12/PE120, PET12/PE_ВБС120 и хранившегося при температуре + (15 – 25 °С). Полученные результаты свидетельствуют о том, что большей эффективностью защиты от окисления характеризуется упаковка, содержащая пленку с высокобарьерными свойствами, превосходя значения по сравнению с двумя другими видами упаковки в 2 и более раза. Преимущество использования упаковки с внутренним слоем из фольгированного полиэтилена выявлено

не было, что можно связать с влиянием других факторов на сохраняемость продукта.

Кроме этого, важно заметить, что темп изменения значений перекисного числа продукта, упакованного в высокобарьерную плёнку, в процессе хранения начинает снижаться, что обусловлено вторичным окислением продукта и переходом части продуктов окисления в альдегиды. Это обеспечивается множеством факторов, связанных как с качеством сырья (наличие двухвалентных и трёхвалентных ионов металлов, являющихся сильными окислителями и т. д.), так и с миграцией веществ из упаковочного материала.

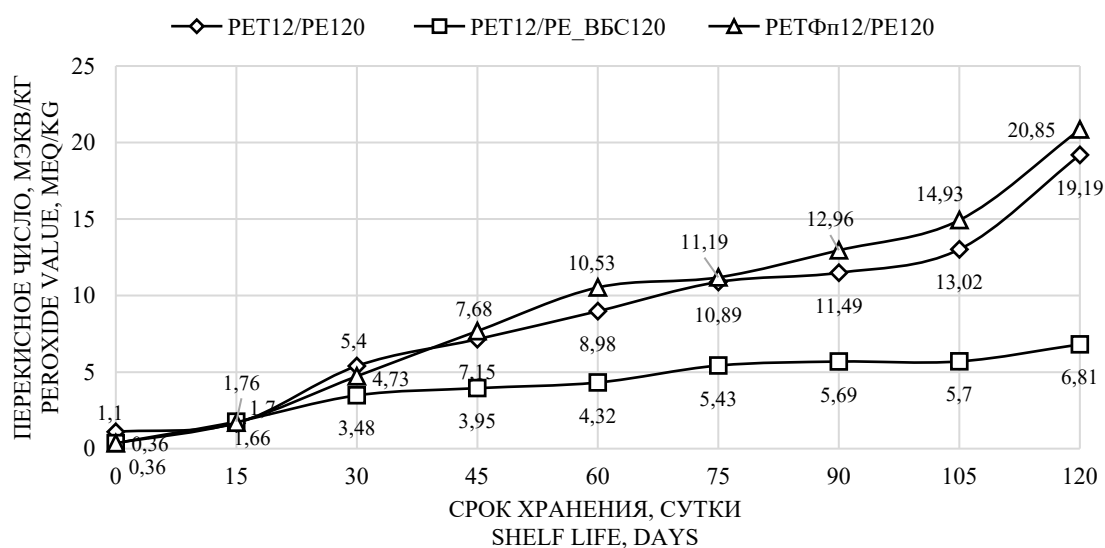


Рисунок 3. Динамика перекисного числа майонеза, упакованного в дой-пак из дуплексных пленок PET12/PE120, PETФп12/PE120 и PET12/PE_ВБС120

Figure 3. Dynamics of the peroxide value of mayonnaise packed in a doypack of duplex films PET12/PE120, RETFp12/PE120 and PET12/PE_VBS120

Далее проводили сравнительный анализ эффективности упаковки, состоящей из комбинаций пленок из фольгированного полиэтилена и пленок с высокими барьерными свойствами. Кроме этого, было оценено влияние элемента

дизайна упаковки «прозрачное окно» на степень окисления майонеза под влиянием дополнительного фактора – света. Продукт хранили при температуре + (15 – 25 °С). Результаты исследований представлены на рисунке 4.

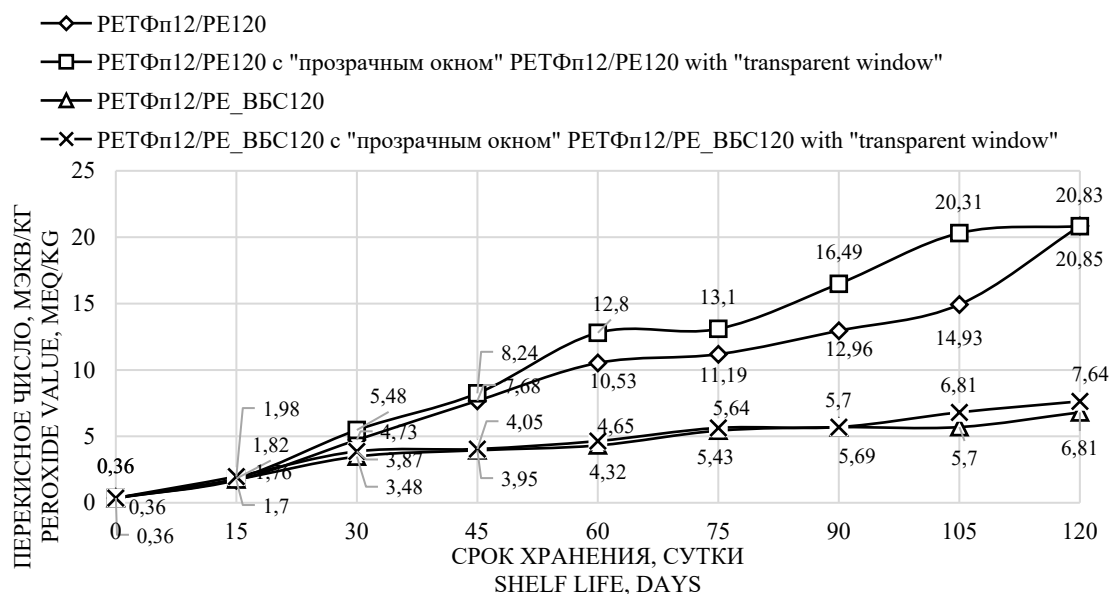


Рисунок 4. Динамика значений перекисного числа майонеза, упакованного в дой-пак из дуплексных пленок RETФп12/PE120 и RET12/PE_VBC120, включая упаковку с «прозрачным окном»

Figure 4. Dynamics of the values of the peroxide value of mayonnaise packed in a doypack of duplex films RETФp12/PE120 and PET12/PE_VBS120, including packaging with a "transparent window"

Исследования подтвердили более высокие барьерные свойства комбинации пленок RET12/PE_VBC120, т. к. значения перекисного числа майонеза, помещенного в упаковку из них, не превышали регламентируемого значения на протяжении всего периода хранения. При этом наличие «прозрачного окна» в упаковке существенно не повлияло на окислительные процессы, происходящие в продукте при хранении. Тогда как использование «прозрачного окна» в упаковке из комбинации пленок RETФп12/PE120 привело к увеличению значений перекисного числа, но существенно не сократило сроки годности продукта в рамках настоящего исследования.

Обсуждение

Полученные в рамках исследования результаты совпадают с данными, опубликованными другими авторами относительно срока хранения продуктов в упаковке из дуплексных пленок от трёх до шести месяцев в зависимости от их комбинации. Исследования способности обеспечить устойчивость к окислительной порче дуплексных плёнок с наиболее распространенной комбинацией RET12/PE120 подтверждает ее эффективность для упаковки майонеза. Данная комбинация пленок является более предпочтительной для производителей пищевых продуктов исходя из соотношения эффективность – стоимость. Подтверждены высокие барьерные свойства

трехслойных и высокобарьерных пленок, срок годности продукции в таких пленках значительно выше за счет снижения интенсивности процессов окислительной порчи. Однако, высокая стоимость таких пленок ограничивает их широкое использование производителями пищевых продуктов.

Заключение

Исходя из полученных результатов исследования можно сделать следующие выводы: толщина упаковочного материала оказывает прямое влияние на значения перекисного числа майонеза с м.д.ж. 67 % – чем тоньше слой внутреннего слоя полиэтилена, тем выше значения перекисного числа;

использование высокобарьерных материалов в упаковке майонеза позволяет существенно снизить интенсивность окислительной порчи и увеличить сроки его годности;

наличие в дизайне упаковочного материала «прозрачного окна» не оказывает существенного влияния на интенсивность окислительных процессов и сохраняемость майонеза.

Данные выводы могут быть приняты во внимание производителями при выборе соответствующих материалов для упаковки пищевых продуктов исходя из предполагаемых условий и сроков их хранения, а также их стоимости и адресности.

Литература

- 1 Севостьянова, Е.С. К вопросу упаковки и хранения пищевых продуктов // Экономика и бизнес: теория и практика. 2021. № 12–3(82). С. 50–54. doi: 10.24412/2411-0450-2021-12-3-50-54.
- 2 Ухарцева И.Ю., Цветкова Е.А., Гольдаде В.А., Шаповалов В.М. Технологические аспекты производства тары и упаковки для пищевых продуктов // Полимерные материалы и технологии. 2022. Т. 8. № 4. С. 6–31. doi: 10.32864/polymmattech-2022-8-4-6-31.
- 3 Bumbudsanpharoke N., Jinkarn T. Effect of high-pressure food processing on selected flexible packaging: Structure, physicochemical properties, and migration // Journal of Food Engineering. 2022. V. 321. P. 110970. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2022.110970
- 4 Солдатова С.Ю. Перспективные виды упаковки для консервированной продукции // Товаровед продовольственных товаров. 2021. № 7. С. 534–539. doi: 10.33920/igt-01-2107-07
- 5 Kumar P.S., Sagar V. Effect of packaging materials and storage temperature on quality of osmo-vac dehydrated guava slices during storage // Proc. Natl. Acad. Sci. India B Biol. Sci. 2016. №. 86. P. 869–876.
- 6 Ухарцева И.Ю., Цветкова Е.А., Гольдаде В.А. Полимерные упаковочные материалы для пищевой промышленности: классификация, функции и требования (обзор) // Пластические массы. 2019. № 9–10. С. 56–64. doi: 10.35164/0554-2901-2019-9-10-56-64
- 7 Saha N.C., Ghosh A.K., Garg M., Sadhu S.D. Semi-rigid Materials – Manufacturing Processes and Its Application // Food Packaging. 2022. P. 89–111. doi:10.1007/978-981-16-4233-3_3
- 8 Nisticò R. Polyethylene terephthalate (PET) in the packaging industry // Polymer Testing. 2020. V. 90. 106707. doi: 10.1016/j.polymertesting.2020.106707
- 9 Ухарцева И.Ю., Цветкова Е.А., Гольдаде В.А. Методы изготовления полимерной упаковки для пищевых продуктов (обзор) // Пластические массы. 2020. № 7–8. С. 40–48. doi: 10.35164/0554-2901-2020-7-8-40-48
- 10 Серова В.Н., Муратов И.И. Закономерности изменения свойств многослойных полимерных пленок в зависимости от их структуры // Бутлеровские сообщения. 2020. Т. 63. № 8. С. 46–52. doi: 10.37952/ROI-jbc-01/20-63-8-46
- 11 Многослойные пленки: классификация и способы применения, производства. URL: <https://plastinfo.ru/information/articles/print/148>
- 12 Anukiruthika T., Sethupathy P., Wilson A., Kashampur K. et al. Multilayer packaging: Advances in preparation techniques and emerging food applications // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2020. V. 19. №. 3. P. 1156-1186. doi: 10.1111/1541-4337.12556
- 13 Trinh B.M., Chang B.P., Mekonnen T.H. The barrier properties of sustainable multiphase and multicomponent packaging materials: A review // Progress in Materials Science. 2023. P. 101071. doi: 10.1016/j.pmatsci.2023.101071
- 14 Robertson G.L., Lee D.S. Comparison of linear and GAB isotherms for estimating the shelf life of low moisture foods packaged in plastic films // Journal of Food Engineering. 2021. V. 291. P. 110317. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2020.110317
- 15 Alias A.R., Wan M.K., Sarbon N.M. Emerging materials and technologies of multi-layer film for food packaging application: A review // Food Control. 2022. V. 136. P. 108875. doi: 10.1016/j.foodcont.2022.108875
- 16 Alojaly H., Benyounis K.Y. Packaging with plastics and polymeric materials. 2022. doi: 10.1016/B978-0-12-820352-1.00025-0
- 17 Parhi A., Tang J., Sablani S.S. Functionality of ultra-high barrier metal oxide-coated polymer films for in-package, thermally sterilized food products // Food Packaging and Shelf Life. 2020. V. 25. P. 100514. doi: 10.1016/j.fpsl.2020.100514
- 18 Niazmand R., Yeganehzad S., Niazmand A. Application of laminated and metalized films to prolong the shelf life of dried barberries // Journal of Stored Products Research. 2021. V. 92. P. 101809. doi: 10.1016/j.jspr.2021.101809
- 19 Жаркевич В.И., Савицкая Т.А., Гриншпан Д.Д., Симат Т.И. Методы определения барьерных свойств пищевых пленок // Полимерные материалы и технологии. 2021. V. 7. № 2. P. 6–29. doi: 10.32864/polymmattech-2021-7-2-6-29
- 20 Dehghani S., Hosseini S.V., Regenstein J.M. Edible films and coatings in seafood preservation: A review // Food chemistry. 2018. №. 240. P. 505–513. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.07.034
- 21 Подгорнова Н.М., Грунина А.А. Применение инкапсуляции для сохранения свойств купажа растительных масел // Индустрия питания|Food Industry. 2022. Т. 7, № 1. С. 39–45. DOI: 10.29141/2500-1922-2022-7-1-5.

References

- 1 Sevostyanova, E.S. On the issue of packaging and storage of food products. Economics and business: theory and practice. 2021. no. 12–3(82). pp. 50–54. doi: 10.24412/2411-0450-2021-12-3-50-54 (in Russian).
- 2 Ukhartseva I.Yu., Tsvetkova E.A., Goldade V.A., Shapovalov V.M. Technological aspects of the production of containers and packaging for food products. Polymer materials and technologies. 2022. vol. 8. no. 4. pp. 6–31. doi: 10.32864/polymmattech 2022-8-4-6-31 (in Russian).
- 3 Bumbudsanpharoke N., Jinkarn T. Effect of high-pressure food processing on selected flexible packaging: Structure, physicochemical properties, and migration. Journal of Food Engineering. 2022. vol. 321. pp. 110970. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2022.110970
- 4 Soldatova S.Yu. Promising types of packaging for canned products. Commodity expert of food products. 2021. no. 7. pp. 534–539. doi: 10.33920/igt 01-2107-07 (in Russian).
- 5 Kumar P.S., Sagar V. Effect of packaging materials and storage temperature on quality of osmo-vac dehydrated guava slices during storage. Proc. Natl. Acad. Sci. India B Biol. Sci. 2016. no. 86. pp. 869–876.
- 6 Ukhartseva I.Yu., Tsvetkova E.A., Goldade V.A. Polymer packaging materials for the food industry: classification, functions and requirements (review). Plastic masses. 2019. no. 9–10. pp. 56–64. doi: 10.35164/0554-2901-2019-9-10-56-64 (in Russian).
- 7 Saha N.C., Ghosh A.K., Garg M., Sadhu S.D. Semi-rigid Materials – Manufacturing Processes and Its Application. Food Packaging. 2022. pp. 89–111. doi:10.1007/978-981-16-4233-3_3

- 8 8. Nisticò R. Polyethylene terephthalate (PET) in the packaging industry. *Polymer Testing*. 2020. vol. 90. 106707. doi: 10.1016/j.polymertesting.2020.106707
- 9 Ukhartseva I.Yu., Tsvetkova E.A., Goldade V.A. Methods for manufacturing polymer packaging for food products (review). *Plastics*. 2020. no. 7–8. pp. 40–48. doi: 10.35164/0554–2901–2020–7–8–40–48 (in Russian).
- 10 Serova V.N., Muratov I.I. Patterns of changes in the properties of multilayer polymer films depending on their structure. *Butlerov communications*. 2020. vol. 63. no. 8. pp. 46–52. doi: 10.37952/ROI-jbc 01/20–63–8–46 (in Russian).
- 11 Multilayer films: classification and methods of application, production. Available at: <https://plastinfo.ru/information/articles/print/148> (in Russian).
- 12 Anukiruthika T., Sethupathy P., Wilson A., Kashampur K. et al. Multilayer packaging: Advances in preparation techniques and emerging food applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2020. vol. 19. no. 3. pp. 1156–1186. doi: 10.1111/1541–4337.12556
- 13 Trinh B.M., Chang B.P., Mekonnen T.H. The barrier properties of sustainable multiphase and multicomponent packaging materials: A review. *Progress in Materials Science*. 2023. pp. 101071. doi: 10.1016/j.pmatsci.2023.101071
- 14 Robertson G.L., Lee D.S. Comparison of linear and GAB isotherms for estimating the shelf life of low moisture foods packaged in plastic films. *Journal of Food Engineering*. 2021. vol. 291. pp. 110317. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2020.110317
- 15 Alias A.R., Wan M.K., Sarbon N.M. Emerging materials and technologies of multi-layer film for food packaging application: A review. *Food Control*. 2022. vol. 136. pp. 108875. doi: 10.1016/j.foodcont.2022.108875
- 16 Alojaly H., Benyounis K.Y. Packaging with plastics and polymeric materials. 2022. doi: 10.1016/B978–0–12–820352–1.00025–0
- 17 Parhi A., Tang J., Sablani S.S. Functionality of ultra-high barrier metal oxide-coated polymer films for in-package, thermally sterilized food products. *Food Packaging and Shelf Life*. 2020. vol. 25. pp. 100514. doi: 10.1016/j.fpsl.2020.100514
- 18 Niazmand R., Yeganehzad S., Niazmand A. Application of laminated and metalized films to prolong the shelf life of dried barberries. *Journal of Stored Products Research*. 2021. vol. 92. pp. 101809. doi: 10.1016/j.jspr.2021.101809
- 19 Zharkevich V.I., Savitskaya T.A., Grinshpan D.D., Simat T.Y. Methods for determining the barrier properties of food films. *Polymer materials and technologies*. 2021. vol. 7. no. 2. pp. 6–29. doi: 10.32864/polymmattech 2021–7–2–6–29 (in Russian).
- 20 Dehghani S., Hosseini S.V., Regenstien J.M. Edible films and coatings in seafood preservation: A review. *Food chemistry*. 2018. no. 240. pp. 505–513. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.07.034
- 21 Podgornova N.M., Grunina A.A. Application of encapsulation to preserve the properties of a blend of vegetable oils // *Food Industry*/Food Industry. 2022. T. 7, No. 1. P. 39–45. DOI: 10.29141/2500-1922-2022-7-1-5

Сведения об авторах

Ольга В. Феofilaktova к.т.н., доцент, кафедра технологии питания, Уральский государственный экономический университет, ул. 8 Марта/Народной воли, 62/45, г. Екатеринбург, 620144, Россия, feofiov@usue.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-1210-0845>

Владислав В. Лабетский аспирант, кафедра технологии питания, Уральский государственный экономический университет, ул. 8 Марта/Народной воли, 62/45, г. Екатеринбург, 620144, Россия, vladislav.labetskiy@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-9240-3314>

Вклад авторов

Ольга В. Феofilaktova обзор литературных источников по исследуемой проблеме, написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Владислав В. Лабетский обзор литературных источников по исследуемой проблеме, предложил методику проведения эксперимента и организовал производственные испытания, написал рукопись

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Olga V. Feofilaktova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, food technology department, Ural State University of Economics, st. March 8, 62, Yekaterinburg, 620144, Russia, feofiov@usue.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-1210-0845>

Vladislav V. Labetsky graduate student, food technology department, Ural State University of Economics, st. March 8, 62, Yekaterinburg, 620144, Russia, vladislav.labetskiy@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-9240-3314>

Contribution

Olga V. Feofilaktova review of the literature on an investigated problem, wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Vladislav V. Labetsky review of the literature on an investigated problem, proposed a scheme of the experiment and organized production trials, wrote the manuscript

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 20/03/2023	После редакции 13/04/2023	Принята в печать 05/05/2023
Received 20/03/2023	Accepted in revised 13/04/2023	Accepted 05/05/2023

Обогащение мясных продуктов натуральными природными биопротекторами и антиоксидантами

Альберт Я. Гизатов¹ kbad@yandex.ru  0000-0003-2753-1082
Наталья В. Гизатова¹ natgiz@yandex.ru  0000-0002-9222-767X

¹ Башкирский государственный аграрный университет, ул. 50-летия Октября, 34, г. Уфа, 450001, Россия

Аннотация. В ходе научных исследований были изучены химический состав, физико-химические и антиоксидантные свойства местного виноградного и вторичного сырья винодельческой промышленности, обоснована и разработана технология производства колбас с добавлением виноградного экстракта высокой пищевой ценности. Получены сведения об антиоксидантной активности виноградного сырья, произрастающего на территории Республики Башкортостан. Наличие в виноградном экстракте биологически активных веществ с антиоксидантными и антиокислительными свойствами является перспективным фактором для введения экстракта в состав пищевых продуктов, в том числе мясных, для обогащения их антиоксидантами. Анализируя результаты исследования позволяли сделать вывод, о том, что использование 3% экстракта из выжимок винограда позволит обогатить мясопродукт достаточным количеством антиоксидантов натурального растительного происхождения. В ходе проведения исследований выяснено, что экстракт из выжимок винограда имеет насыщенный темно синий цвет из-за высокого содержания антоцианов, которые могут повлиять на органолептические характеристики готового мясопродукта в связи, с чем были проанализированы цветовые характеристики образцов фарша. Важным показателем в наших научных изысканиях являлась сохранность антиоксидантов в процессе приготовления экстракта и введения в мясной фарш. В связи с этим далее была изучена степень сохранности расчетное и фактическое суммарное содержание антиоксидантов в разных объектах. Научно обоснована технология получения новых видов пищевой продукции – колбас, базирующаяся на использовании экстрактов виноградной выжимки. Установлено, что в рамках современной теории позитивного полезного питания целесообразнее экстракт из выжимок винограда добавлять взамен жирного мясного сырья, что позволит обогатить колбасные изделия не только минеральными веществами, органическими и полиненасыщенными жирными кислотами, витаминами, аминокислотами, пектиновыми веществами, а также позволит получить биологически ценные мясные продукты на основе вторичного виноградного сырья.

Ключевые слова: экстракт, виноград, антиоксидант, органолептические показатели, выжимки винограда, колбасы, флавоноиды.

Enrichment of meat products with natural bioprotectors and antioxidants

Albert Ya. Gizatov¹ kbad@yandex.ru  0000-0003-2753-1082
Natalia V. Gizatova¹ natgiz@yandex.ru  0000-0002-9222-767X

¹ Bashkir State Agrarian University, 34, 50th Anniversary of October st., Ufa, 450001, Russia

Abstract. In the course of scientific research the chemical composition, physico-chemical and antioxidant properties of local grape and secondary raw materials of winemaking industry were studied, the technology of sausage production with the addition of grape extract of high nutritional value was substantiated and developed. Information on the antioxidant activity of grape raw materials growing in the territory of the Republic of Bashkortostan has been obtained. The presence of biologically active substances with antioxidant and antioxidant properties in the grape extract is a promising factor for the introduction of the extract in food products, including meat products, to enrich them with antioxidants. Analyzing the results of the study, we can conclude that the use of 3% grape squeeze extract will enrich meat products with a sufficient amount of antioxidants of natural plant origin. In the course of research it was found that the extract from grape squeeze has a rich dark blue color due to the high content of anthocyanins, which can affect the organoleptic characteristics of the finished meat product, in connection with that the color characteristics of the minced meat samples were analyzed. An important indicator in our scientific research was the preservation of antioxidants in the process of preparation of the extract and introduction into the minced meat. In this regard, the degree of preservation of calculated and actual total content of antioxidants in different objects was further studied. The technology of obtaining new types of food products - sausages, based on the use of grape extracts has been scientifically substantiated. It has been established that within the framework of the modern theory of positive nutrition it is more reasonable to add grape squeeze extract instead of fatty meat raw materials. This allows to enrich sausage products not only with mineral substances, organic and polyunsaturated fatty acids, vitamins, amino acids, pectin substances, but also to obtain biologically valuable meat products based on secondary grape raw materials.

Keywords: extract, grapes, antioxidant, organoleptic indicators, grape pomace, sausages, flavonoids.

Введение

В настоящее время с антироссийскими санкциями появляется необходимость ускоренного решения вопросов импортозамещения и достижения кардинального изменения в области питания.

На фоне данных изменений особенно актуальным становится вопрос повышения производства конкурентоспособных пищевых продуктов отечественной промышленности путем замещения импортируемых товаров товарами

отечественного производства [1]. Исходя из этого, важным направлением в пищевой промышленности становится производство отечественных продуктов питания массового потребления с повышенным содержанием биологически активных веществ, предназначенных для различных групп населения [2, 3].

В настоящее время проблема снижения устойчивости организма человека к постоянному воздействию негативных факторов окружающей

Для цитирования

Гизатов А.Я., Гизатова Н.В. Обогащение мясных продуктов натуральными природными биопротекторами и антиоксидантами // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 2. С. 103–109. doi:10.20914/2310-1202-2023-2-103-109

For citation

Gizatov A.Ya., Gizatova N.V. Enrichment of meat products with natural bioprotectors and antioxidants. Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 2. pp. 103–109. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-2-103-109

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

среды занимает основное место в экологии человека и приобретает все большую актуальность. Согласно литературным данным более 100 заболеваний человека являются следствием «окислительного стресса», который возникает в результате нехватки антиоксидантов [4–6]. Один из путей решения данной проблемы – обогащение традиционных продуктов массового потребления природными антиоксидантами. К перспективным источникам антиоксидантов, относится, растительное сырье [7].

Окисление липидов является одним из основных процессов, ограничивающих сроки хранения многих пищевых продуктов. Липиды присутствуют почти во всех видах сырья, чаще всего в виде триглицеридов, накапливающихся в жировых клетках животных и растений, и фосфолипидов, которые входят в состав биологических мембран [8].

Экстракты отходов переработки винограда и производства вина приобретают все большую популярность в качестве антиокислителей в липидосодержащих системах и прежде всего в мясе. Биологически активные свойства винограда получили широкое общественное признание. Богатый химический состав винограда (белки, витамины, фруктовые кислоты, микро- и макроэлементы) дает огромный потенциал для использования вторичных продуктов винопроизводства и виноматериалов при разработке рецептур мясных продуктов с добавлением экстракта функционального назначения [9]. Кроме этого, было выявлено, основным источником антиоксидантов, определяющих биологическую ценность продукции, получаемой из винограда, являются виноградные семена и выжимки. На сегодняшний день винодельческая отрасль не занимается промышленной переработкой виноградной выжимки, подавляющее количество цехов утилизации простаивает [10, 11].

Целью настоящей работы является обоснование и разработка технологии производства мясных продуктов, с добавлением виноградной выжимки высокой пищевой ценности.

В работе решались следующие задачи:

- изучить химический состав, физико-химические и антиоксидантные свойства местного виноградного и вторичного сырья винодельческой промышленности;
- обоснование и разработка модифицированной технологической схемы производства мясных продуктов

Материалы и методы

В качестве объектов исследования были выбраны образцы винограда, произрастающие на территории республики Башкортостан, вторичное виноградное сырье с винодельческих предприятий:

- столовый виноград сортов: Агат Донской, Амурский прорыв, Анюта, Башкирский, Гелиос;
- приобретенные в торговых и аптечных сетях для сравнения;
- экстракт винограда;

Химический состав и физико-химические характеристики образцов свежего винограда, вторичного виноградного сырья, проводили по стандартным методикам, приведенным в таблице 1.

Общее содержание флавоноидов измеряли фотоколориметрическим методом по интенсивности протекания реакции с растворами нитрита натрия и хлорида алюминия. Коэффициент пропускания определяли при длине волны 510 нм. Общее содержание флавоноидов определяли по калибровочной кривой и выражали в мг катехина на 100 грамм исходного сырья.

Антиоксидантную активность определяли по методу тролокс эквивалентный антиоксидантной активности. Метод основан на измерении обесцвечивания окраски долгоживущего катион радикала голубого цвета при воздействии антиоксиданта. Стабильный раствор ABTS⁺ получается при воздействии на водный раствор ABTS (2,2'-азино-бис (3-этилбензтиазолино-6- сульфоновая кислота) персульфата калия определенной концентрации. Коэффициент пропускания определяется при 734 нм. Результаты выражали относительно тралокса в моль/кг.

Таблица 1.

Методики определения физико-химических показателей

Table 1.

Methods for determining the physical and chemical parameters

Показатель Indicator	Метод Method	НД
Содержание растворимых сухих веществ Content of soluble solids	Рефрактометрический метод Refractometric method	ГОСТ Р 51433 GOST R 51433
Массовая доля титруемых кислот Mass fraction of titratable acids	Потенциометрическое титрование Potentiometric titration	ГОСТ Р 51434 GOST R 51434
Массовая доля редуцирующих сахаров Mass fraction of titratable acids	Фотоколориметрический метод Photocolorimetric method	ГОСТ 8756.13 GOST 8756.13
Массовая доля мякоти Mass fraction of flesh		ГОСТ 8756.10–70 GOST 8756.10
Массовая доля влаги Mass fraction of moisture		ГОСТ 28561–90 GOST 28561–90
Содержание пектина Pectin content	Фотоколориметрический метод Photocolorimetric method	

Антиокислительную активность образцов определяли в системе линолевой кислоты. Методика основана на способности антиоксидантов изучаемого сырья ингибировать процессы окисления линолевой кислоты при условиях, приближенных к состоянию живой клетке. Процесс проводится в модельной системе при температуре 40 °С при pH 7,0 в течение 120 ч, после чего проводится измерение степени окисления по образованию гидроперекисей, реагирующих с растворами NH_4SCN и FeCl_2 в HCl . Антиоксидантная активность выражается в процентах ингибирования окисления линолевой кислоты. Опыты проводили в трехкратной повторяемости.

Определение органолептических показателей экстрактов проводили по ГОСТ 18078–72 «Экстракты плодовые и ягодные. Технические условия» и ГОСТ 8756.1–79 «Продукты пищевые консервированные». Для определения органолептического качества разработанных мясных продуктов работала комиссия дегустаторов, созданная на базе кафедры «Технология мясных, молочных продуктов и химии» Башкирского государственного аграрного университета в количестве 10 человек. У исследуемых образцов колбас были определены консистенция, цвет, вкус, аромат и внешний вид согласно ГОСТ 9959–2015. Каждому показателю качества колбас присваивалась оценка по пятибалльной шкале. Максимальная оценка образца продукта по всем органолептическим показателям равнялась 25 баллам.

Результаты и обсуждение

На фоне вышесказанного в качестве биопротектора растительного происхождения перспективным сырьем может служить первичное и вторичное виноградное сырье. Выбор данных продуктов обусловлен не только их богатым химическим составом и полезными свойствами, но и широкой распространенностью их в России, в том числе в Республике Башкортостан. Практически во всех районах республики кроме северо-запада выращивается виноград порядка 330 сортов, специально выведенных для данного региона.

Для проведения исследований в качестве растения-антиоксиданта выбран сушеный виноград сорта «Башкирский». Башкирский – универсальный ранний сорт винограда с продолжительность вегетационного периода 160 дней. Кисти средние, рыхлые, массой 120 г. Виноград округлой формы, темно-синего цвета, внутри сочная мякоть, бесцветный сок. Это один из самых популярных видов в Башкирии.

Кожура ягод винограда содержит очень мощные антиоксиданты флавоноидов. Флавоноиды сочетают в себе не только антиоксидантные и солнцезащитные свойства, но и обладают другими полезными свойствами: известна высокая капилляроразщитная (Р-витаминная активность) флавоноидов винограда. Изучение лечебных

свойств (таблица 2) кожуры ягод показало, что кожура является богатым источником белка, жира и флавоноидов. Активность кислотности (pH) виноградных выжимок составила 3,8.

Таблица 2.
Химический состав ягодной кожуры винограда

Table 2.
Chemical composition of grape skins

Показатель Indicator	Содержание Contents	
	%	% на сухой остаток % on dry residue
Белок Protein	5,8	12,7
Жир Fat	4,1	9,0
Клетчатка Fiber	13,3	29,0
Зола Ash	4,1	9,0
Вода Water	54,2	-
Массовая доля сахарозы Mass fraction of sucrose	9,2	20,1
Массовая концентрация титруемых кислот (в пересчете на уксусную кислоту) Mass concentration of titratable acids (in terms of acetic acid)	0,75	1,6
Содержание флавоноидов Flavonoid content	2,4	
* общее содержание пектиновых веществ в виноградных выжимках не определяли		

Наличие в экстракте биологически активных веществ с антиоксидантными и антиокислительными свойствами является перспективным фактором для введения экстракта в состав пищевых продуктов, в том числе мясных, для обогащения их антиоксидантами.

В таблице 3 представлены качественные показатели сухого экстракта из выжимок винограда.

Таблица 3.
Качественные показатели экстракта из выжимок винограда

Table 3.
Qualitative indices of grape squeeze extract

Показатель Indicator	Значение Value
Внешний вид Appearance	сыпучая масса bulk mass
Вкус и запах Taste and smell	кисло-сладкий с ароматом винограда sweet and sour with grape flavor
Цвет Color	темно-синий dark blue

Нами был рассмотрен вариант введения сухого экстракта из выжимок винограда в мясной фарш (из говядины и свинины). Сухой экстракт перед внесением в модельный фарш предварительно гидратировали в воде и затем вводили в состав фарша.

Было изучено влияние концентрации экстракта на суммарное содержание антиоксидантов (ССА) в составе фарша (рисунок 1).

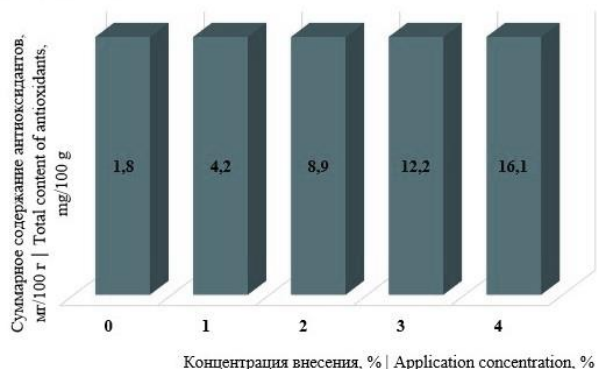


Рисунок 1. Влияние концентрации дозы экстракта из выжимок винограда на суммарное содержание антиоксидантов в мясном фарше

Figure 1. Influence of the dose concentration of the extract from grape pomace on the total content of antioxidants in minced meat

Данные рисунка 1 показали, что с увеличением дозы вводимого экстракта с 1 до 4 % суммарное содержание антиоксидантов в мясном фарше повышается с 1,5 до 15,9 мг/100 г.

В связи с тем, что экстракт из выжимок винограда имеет насыщенный темно синий цвет из-за высокого содержания антоцианов, были проанализированы цветовые характеристики образцов фарша, которые могут повлиять на органолептические характеристики готового мясопродукта (таблица 4).

Таблица 4.

Исследование окраски фарша с введением разного количества экстракта из выжимок винограда

Table 4.

Investigation of minced meat coloring with the introduction of different amounts of extract from grape pomace

Образец Sample	Доза экстракта из выжимок винограда, % Dose of grape pomace extract, %	Цвет Color
Контроль Control	0	светло-розовый light pink
Опыт Experiment	1	красный red
	2	темно-красный dark red
	3	Коричневый brown
	4	серо-коричневый taupe

Введение экстракта из выжимок винограда свыше 3% придает мясному фаршу серо-коричневую окраску, которая может негативно сказаться на внешнем виде готового продукта, колбасных изделий. В связи с этим доза введения экстракта сухого из выжимок винограда была взята в концентрации 3% от массы сырья.

Важным показателем в наших научных изысканиях являлась сохранность антиоксидантов в процессе приготовления экстракта и введения в мясной фарш. В связи с этим далее была изучена степень сохранности. В таблице 5 представлены расчетное и фактическое суммарное содержание антиоксидантов в разных объектах.

Таблица 5.

Суммарное содержание антиоксидантов в исследуемых объектах

Table 5.

The total content of antioxidants in the studied objects

Объект Object	Значение суммарного содержания антиоксидантов, % The value of the total content of antioxidants, %	
	расчетное estimated	Фактическое actual
Экстракт сухой из выжимок винограда Dry extract from grape pomace	—	38,37
Мясной фарш (из говядины и свинины) Minced meat (from beef and pork)	0,43	0,40
Мясной фарш после тепловой обработки Minced meat after heat treatment	0,43	0,37

Из таблицы видно, что в процессе приготовления фарша сохранность антиоксидантов составляет 93–95%.

Представленные факты позволяют сделать выводы, что использование 3% экстракта из выжимок винограда позволяет обогатить мясопродукт достаточным количеством антиоксидантов натурального растительного происхождения.

В рамках современной теории позитивного питания целесообразнее экстракт из выжимок винограда добавлять взамен жирного мясного сырья, что позволит обогатить колбасные изделия не только минеральными веществами, органическими и полиненасыщенными жирными кислотами, витаминами, аминокислотами, пектиновыми веществами, а также позволит получить биологически ценные мясные продукты на основе вторичного виноградного сырья.

Требование высокого качества получаемой готовой продукции является одним из основных требований. Под качеством мясных продуктов подразумевается многообразный перечень характеристик, который включает в себя большой набор органолептических показателей.

Органолептические показатели качества продукта – это обобщенный результат оценки его качества, выполненный с помощью органов чувств человека. При оценке продукта определяли такие показатели, как: внешний вид, консистенция, цвет, запах, вкус. Оценка колбас основана на определении органолептических показателей согласно пятибалльной шкале. Данная шкала

охватывает пять основных уровней качества для оценки каждого из свойств качества: балл «5» всегда обозначает отличное, очень хорошее качество, балл «4» – хорошее качество, балл «3» – качество удовлетворительное, балл «2» – качество едва удовлетворительное, балл «1» – качество неудовлетворительное. Каждому баллу шкалы соответствует обусловленное описание качества. Полученный анализ органолептических характеристик выработанных колбасных изделий представлен на рисунке 2 в виде диаграмм.

Анализируя дегустационную оценку образцов выработанных колбас, по сравнению с контролем наиболее оптимальный цвет, вкус, аромат и консистенцию имеет полукопченая колбаса.

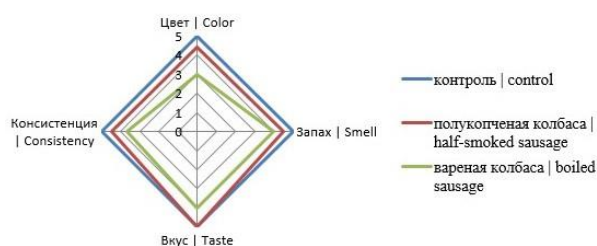


Рисунок 2. Дегустационная оценка образцов исследуемых колбас

Figure 2. Tasting evaluation of samples of the investigated sausages

В выработанной вареной колбасе выявлены значительные изменения в цвете и в консистенции в виде темных нежелательных включений, что отрицательно скажется на потребительском спросе данного мясного продукта. Таким образом, можно сделать вывод, что с оптимальным вариантом использования экстракта выжимок винограда является производство полукопченых колбас.

Заключение

На основании анализа экспериментальных данных установлено, что в основном биологически активные вещества сосредоточены в коже и косточках винограда в связи, с чем выжимки и семена винограда, являются перспективным сырьем для получения биологически активных экстрактов, что предопределяет целесообразность разработки технологии их производства. Также установлено возможность использования экстракта сухих выжимок винограда в качестве натуральных природных биопротекторов при производстве мясных продуктов. Кроме этого, использование вторичного сырья позволит минимизировать отходы производства, что приведет к повышению выхода полезной продукции с единицы сырья.

Литература

- 1 Долматова И.А., Горелик О.В., Зайцева Т.Н. и др. Разработка рецептуры комбинированных полуфабрикатов из мяса птицы // Вестник ВГУИП. 2022. Т. 84, № 2(92). С. 115–121. DOI: 10.20914/2310-1202-2022-2-115-121
- 2 Othman A.J., Eliseeva L.G., Simina D.V. Microgreens: a newly merging product, aspects, perspectives, and disadvantages // Proceedings of VSUET. 2021. V. 83. №. 1(87). P. 102–107. doi: 10.20914/2310-1202-2021-1-102-107
- 3 Тихонова А.Н., Бирюкова С.А., Глоба Е.В. и др. Механический состав и влажность выжимок в зависимости от технологии переработки винограда // Виноделие и виноградарство. 2020. № 1. С. 39–43.
- 4 Тихонова А.Н., Агеева Н.М., Бирюков А.П. О возможности использования виноградных пищевых волокон в виноделии // Русский виноград. 2018. Т. 7. С. 216–221.
- 5 Тихонова А.Н., Агеева Н.М. Виноградные выжимки как сырье для производства пищевых волокон // Виноградарство и виноделие. 2019. Т. 48. С. 52–53.
- 6 Тихонова А.Н., Агеева Н.М., Марковский М.Г. и др. Влияние технологии производства виноградных пищевых волокон на химический состав вина // Инновационные исследования и разработки для научного обеспечения производства и хранения экологически безопасной сельскохозяйственной и пищевой продукции: сборник материалов III Международной научно-практической конференции, Краснодар, 08–19 апреля 2019 года. Том Часть 2. Краснодар: Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки и табачных изделий Российской академии сельскохозяйственных наук, 2019. С. 262–267.
- 7 Ju Zhi Y., Howard Luke R. Subcritical water extraction of anthocyanins and other phenolics from dried red grape skin // Journal Food Science. 2022. V. 70. № 4. P. 270–276.
- 8 Karre L., Lopez K., Getty Kelly J. Natural antioxidants in meat and poultry products // Meat Science. 2021. V. 94. № 2. P. 220–227.
- 9 Blagov D.A., Gizatov A.Ya., Smakuyev D.R., Kosilov V.I. et al. Overview of feed granulation technology and technical means for its implementation // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2020. V. 613. №. 1. P. 012018.
- 10 Турсунов А.А., Жумалиева М. Влияние экстракта шиповника на показатели цветности и текстурные показатели колбас // Вестник Алматинского технологического университета. 2023. № 1. С. 25–32. doi: 10.48184/2304-568X-2023-1-25-32.
- 11 Gizatov A., Gizatova N., Mironova I. et al. Creation and use of microorganism consortium in meat production // Periodico Tche Quimica. 2020. V. 17. №. 35. P. 713–727.
- 12 El Abed N., Kaabi B., Smaali M.I., Chabbouh M. et al. Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of Thymus capitata essential oil with its preservative effect against Listeria monocytogenes inoculated in minced beef meat // Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine. 2014. V. 2014.

- 13 Saeedi M., Soltani F., Babalar M., Izadpanah F. et al. Selenium fortification alters the growth, antioxidant characteristics and secondary metabolite profiles of cauliflower (*Brassica oleracea* var. botrytis) cultivars in hydroponic culture // *Plants*. 2021. V. 10. №. 8. P. 1537. doi: 10.3390/plants10081537
- 14 Borges M.M., da Costa D.V., Trombete F.M., Câmara A.K.F.I. et al. Edible insects as a sustainable alternative to food products: An insight into quality aspects of reformulated bakery and meat products // *Current Opinion in Food Science*. 2022. V. 46. P. 100864. doi: 10.1016/j.cofs.2022.100864
- 15 Bartkiene E., Mozurienė E., Juodeikiene G., Zadeike D. et al. Pork meat products functional value and safety parameters improving by using lactic acid fermentation of savory plants // *Journal of Food Science and Technology*. 2015. V. 52. P. 7143-7152.
- 16 Pisoschi A.M., Pop A., Georgescu C., Turcuş V. et al. An overview of natural antimicrobials role in food // *European Journal of Medicinal Chemistry*. 2018. V. 143. P. 922-935. doi: 10.1016/j.ejmech.2017.11.095
- 17 Huang M., Wang H., Xu X., Lu X. et al. Effects of nanoemulsion-based edible coatings with composite mixture of rosemary extract and ϵ -poly-L-lysine on the shelf life of ready-to-eat carbonado chicken // *Food Hydrocolloids*. 2020. V. 102. P. 105576. doi: 10.1016/j.foodhyd.2019.105576
- 18 Catarino M.D., Alves-Silva J.M., Fernandes R.P., Gonçalves M.J. et al. Development and performance of whey protein active coatings with *Origanum virens* essential oils in the quality and shelf life improvement of processed meat products // *Food Control*. 2017. V. 80. P. 273-280. doi: 10.1016/j.foodcont.2017.03.054
- 19 Moldes A.B., Vecino X., Cruz J.M. Nutraceuticals and food additives // *Current developments in biotechnology and bioengineering*. 2017. P. 143-164. doi: 10.1016/B978-0-444-63666-9.00006-6
- 20 Sivaram S., Somanathan H., Kumaresan S.M., Muthuraman M.S. et al. The beneficial role of plant based Thymol in food packaging application: A comprehensive review // *Applied Food Research*. 2022. P. 100214. doi: 10.1016/j.afres.2022.100214

References

- 1 Dolmatova I.A., Gorelik O.V., Zaitseva T.N. et al. Development of recipes for combined semi-finished products from poultry meat. *Proceedings of VSUET*. 2022. vol. 84. no. 2(92). pp. 115–121. doi: 10.20914/2310-1202-2022-2-115-121 (in Russian).
- 2 Othman A.J., Eliseeva L.G., Simina D.V. Microgreens: a newly merging product, aspects, perspectives, and disadvantages // *Proceedings of VSUET*. 2021. vol. 83. no. 1(87). pp. 102–107. doi: 10.20914/2310-1202-2021-1-102-107
- 3 Tikhonova A.N., Biryukova S.A., Globa E.V. et al. Mechanical composition and moisture content of marc depending on grape processing technology. *Winemaking and viticulture*. 2020. no. 1. pp. 39–43. (in Russian).
- 4 Tikhonova A.N., Ageeva N.M., Biryukov A.P. On the possibility of using grape dietary fiber in winemaking. *Russian grapes*. 2018. vol. 7. pp. 216–221. (in Russian).
- 5 Tikhonova A.N., Ageeva N.M. Grape pomace as a raw material for the production of dietary fiber. *Viticulture and winemaking*. 2019. vol. 48. pp. 52–53. (in Russian).
- 6 Tikhonova A.N., Ageeva N.M., Markovsky M.G. and others. The influence of technology for the production of grape dietary fiber on the chemical composition of wine. *Innovative research and development for scientific support of the production and storage of environmentally friendly agricultural and food products: collection of materials of the III International Scientific and Practical Conference, Krasnodar, April 08–19, 2019. Volume Part 2. Krasnodar: State scientific institution All-Russian Scientific Research Institute of Tobacco, Shag and Tobacco Products of the Russian Academy of Agricultural Sciences*, 2019. pp. 262–267. (in Russian).
- 7 Ju Zhi Y., Howard Luke R. Subcritical water extraction of anthocyanins and other phenolics from dried red grape skin. *Journal Food Science*. 2022. vol. 70. no. 4. pp. 270–276.
- 8 Karre L., Lopez K., Getty Kelly J. Natural antioxidants in meat and poultry products. *Meat Science*. 2021. vol. 94. no. 2. pp. 220–227.
- 9 Blagov D.A., Gizatov A.Ya., Smakuyev D.R., Kosilov V.I. et al. Overview of feed granulation technology and technical means for its implementation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2020. vol. 613. no. 1. pp. 012018.
- 10 Tursunov A.A., Zhumaliev M. The influence of rosehip extract on the color and texture indicators of sausages. *Bulletin of the Almaty Technological University*. 2023. no. 1. pp. 25–32. doi: 10.48184/2304-568X.2023-1-25-32. (in Russian).
- 11 Gizatov A., Gizatova N., Mironova I. et al. Creation and use of microorganism consortium in meat production. *Periodico Tche Quimica*. 2020. vol. 17. no. 35. pp. 713–727.
- 12 El Abed N., Kaabi B., Smaali M.I., Chabbouh M. et al. Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of *Thymus capitata* essential oil with its preservative effect against *Listeria monocytogenes* inoculated in minced beef meat. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 2014. vol. 2014.
- 13 Saeedi M., Soltani F., Babalar M., Izadpanah F. et al. Selenium fortification alters the growth, antioxidant characteristics and secondary metabolite profiles of cauliflower (*Brassica oleracea* var. botrytis) cultivars in hydroponic culture. *Plants*. 2021. vol. 10. no. 8. pp. 1537. doi: 10.3390/plants10081537
- 14 Borges M.M., da Costa D.V., Trombete F.M., Câmara A.K.F.I. et al. Edible insects as a sustainable alternative to food products: An insight into quality aspects of reformulated bakery and meat products. *Current Opinion in Food Science*. 2022. vol. 46. pp. 100864. doi: 10.1016/j.cofs.2022.100864
- 15 Bartkiene E., Mozurienė E., Juodeikiene G., Zadeike D. et al. Pork meat products functional value and safety parameters improving by using lactic acid fermentation of savory plants. *Journal of Food Science and Technology*. 2015. vol. 52. pp. 7143-7152.
- 16 Pisoschi A.M., Pop A., Georgescu C., Turcuş V. et al. An overview of natural antimicrobials role in food. *European Journal of Medicinal Chemistry*. 2018. vol. 143. pp. 922-935. doi: 10.1016/j.ejmech.2017.11.095

17 Huang M., Wang H., Xu X., Lu X. et al. Effects of nanoemulsion-based edible coatings with composite mixture of rosemary extract and ϵ -poly-L-lysine on the shelf life of ready-to-eat carbonado chicken. Food Hydrocolloids. 2020. vol. 102. pp. 105576. doi: 10.1016/j.foodhyd.2019.105576

18 Catarino M.D., Alves-Silva J.M., Fernandes R.P., Gonçalves M.J. et al. Development and performance of whey protein active coatings with Origanum virens essential oils in the quality and shelf life improvement of processed meat products. Food Control. 2017. vol. 80. pp. 273-280. doi: 10.1016/j.foodcont.2017.03.054

19 Moldes A.B., Vecino X., Cruz J.M. Nutraceuticals and food additives. Current developments in biotechnology and bioengineering. 2017. pp. 143-164. doi: 10.1016/B978-0-444-63666-9.00006-6

20 Sivaram S., Somanathan H., Kumaresan S.M., Muthuraman M.S. et al. The beneficial role of plant based Thymol in food packaging application: A comprehensive review. Applied Food Research. 2022. pp. 100214. doi: 10.1016/j.afres.2022.100214

Сведения об авторах

Альберт Я. Гизатов к.т.н., доцент, кафедра технологии мясных, молочных продуктов и химии, Башкирский государственный аграрный университет, ул. 50-летия Октября, 34, г. Уфа, 450001, Россия, kbad@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2753-1082>

Наталья В. Гизатова к.б.н., доцент, кафедра технологии мясных, молочных продуктов и химии, Башкирский государственный аграрный университет, ул. 50-летия Октября, 34, г. Уфа, 450001, Россия, natgiz@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9222-767X>

Вклад авторов

Альберт Я. Гизатов предложил методику проведения эксперимента и организовал производственные испытания

Наталья В. Гизатова обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Albert Ya. Gizatov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technology of meat, dairy products and chemistry department, Bashkir State Agrarian University, 50th Anniversary of October st., 34, Ufa, 450001, Russia, kbad@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2753-1082>

Natalia V. Gizatova Dr. Sci. (Biol.), associate professor, technology of meat, dairy products and chemistry department, Bashkir State Agrarian University, 50th Anniversary of October st., 34, Ufa, 450001, Russia, natgiz@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9222-767X>

Contribution

Albert Ya. Gizatov proposed a scheme of the experiment and organized production trials

Natalia V. Gizatova review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 10/03/2023	После редакции 27/03/2023	Принята в печать 18/04/2023
Received 10/03/2023	Accepted in revised 27/03/2023	Accepted 18/04/2023

Особенности рационального питания спортсменов: анализ сборных команд вуза

Виктор А. Питкин¹irvik25@mail.ru 0000-0001-6356-6501Анастасия А. Родионова¹lendumat13@yandex.ru¹ Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, город Краснодар. 350072, Россия

Аннотация. Правильное питание играет ключевую роль в достижении успешных результатов в физической активности. Оно не только обеспечивает организм необходимыми питательными веществами, но и помогает поддерживать энергию и восстанавливать мышцы после тренировок. Одной из распространенных стратегий питания является распределение питательных веществ по времени. Это означает, что важно потреблять комбинации белков, углеводов и жиров независимо от времени дня или тренировки. Однако, пропорции потребления этих компонентов могут влиять на интенсивность и продолжительность тренировок. Особое внимание следует уделить послетренировочному периоду, так как он считается наиболее важным для потребления питательных веществ и восстановления организма. В этот момент организм нуждается в питательных веществах для восстановления поврежденных мышц и запасов энергии. Правильное соотношение питательных компонентов в это время способствует улучшению состава тела и физической работоспособности. В статье представлены советы и рекомендации по выбору правильных продуктов, учитывающих особенности тренировок и индивидуальные потребности организма. Также предоставляются советы по потреблению питательных веществ и жидкости. Важно употреблять достаточное количество белка для поддержания и восстановления мышц, а также углеводы для энергии. Правильное питание является основой для достижения высоких результатов в физической активности, повышения работоспособности и эффективного восстановления после тренировок. Целью работы является понимание важности роли питания в спорте и умение правильно распределять питательные вещества, что является важным шагом на пути к достижению спортивных и физических целей.

Ключевые слова: правильное питание, энергетический баланс, энергетические затраты организма, макронутриенты, КБЖУ

Features of rational nutrition of athletes: analysis of university teams

Victor A. Pitkin¹irvik25@mail.ru 0000-0001-6356-6501Anastasia A. Rodionova¹lendumat13@yandex.ru¹ Kuban State Technological University, Moskovskaya str., 2, Krasnodar. 350072, Russia

Abstract. Proper nutrition plays a key role in achieving successful results in physical activity. It not only provides the body with the necessary nutrients, but also helps maintain energy and restore muscles after training. One common nutritional strategy is to distribute nutrients over time. This means it's important to consume a combination of proteins, carbohydrates, and fats regardless of the time of day or workout. However, the proportions of intake of these components can affect the intensity and duration of training. Particular attention should be paid to the post-workout period, as it is considered the most important for nutrient intake and recovery of the body. At this point, the body needs nutrients to repair damaged muscles and energy stores. The correct ratio of nutrients at this time contributes to the improvement of body composition and physical performance. The article provides tips and advice on choosing the right products, taking into account the characteristics of training and individual needs of the body. Advice on nutrient and fluid intake is also provided. It is important to consume enough protein for muscle maintenance and repair, as well as carbohydrates for energy. Proper nutrition is the basis for achieving high results in physical activity, increasing efficiency and effective recovery after training. The purpose of the work is to understand the importance of nutrition in sports and the ability to correctly distribute nutrients, which is an important step towards achieving sports and physical goals.

Keywords: proper nutrition, energy balance, energy expenditures of the body, macronutrients, KBGU

Введение

В современном спорте питание занимает важное место в рассмотрении факторов, влияющих на результативность физических тренировок, повышение работоспособности и восстановление мышечной массы. Сбалансированный рацион и режим питания повышает работоспособность и выносливость организма, способствует нормальному физическому и нервно-психическому развитию [26].

Ключевыми в этой области являются макроэлементы, потребляемые во время спортивных тренировок [1, 2]. Правильное питание помогает предотвратить повреждения мышц и систем организма, повышает выносливость

и способствует реабилитации организма после интенсивных соревновательных нагрузок.

Для организации рационального питания необходим определенный режим, включающий распределение приемов пищи на протяжении дня, который должен быть строго согласован с режимом тренировочного процесса. [19, 20]. Однако, один из факторов, не способствующих к соблюдению правил рационального питания спортсменов – недостаточные знания спортсменов о питании [21, 22].

Цель работы – оценка уровня физической активности, привычек питания и знания о сбалан-

Для цитирования

Питкин В.А., Родионова А.А. Особенности рационального питания спортсменов: анализ сборных команд вуза // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 2. С. 110–115. doi:10.20914/2310-1202-2023-2-110-115

For citation

Pitkin V.A., Rodionova A. A. Features of rational nutrition of athletes: analysis of university teams. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 2. pp. 110–115. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-2-110-115

сированном питании. Оценка показателей физической активности и привычек питания будет произведена с помощью соответствующих методик, обеспечивающих объективность результатов.

Материалы и методы

Исследование было проведено с использованием анкетного опроса, в котором приняли участие 60 спортсменов. Из них 44 были мужчинами, а 16 – женщинами. Все участники занимались циклическими видами спорта: легкой атлетикой (группа А), мини-футболом (группа В) и волейболом (группа С). Для обработки данных и проведения статистического анализа использовалась программа IBM SPSS Statistics v. 23.0 из США. Результаты исследования представлены в виде среднего значения и стандартной ошибки среднего значения. Для определения достоверности различий между группами был использован непараметрический критерий Манна-Уитни. Уровень достоверности принимался при значении $p < 0,05$.

Всего в опросе приняли участие 44 мужчины (71,67%) и 16 женщин (28,33%). Возраст опрошенных варьировал от 18 до 28 лет. Для дальнейшего анализа данных используются статистические методы, позволяющие определить различия между группами и установить, как их питание может быть улучшено в соответствии с требованиями спорта.

Питание должно содержать все необходимые для человека питательные вещества (нутриенты) в достаточных количествах и сбалансированных между собой в наиболее благоприятных соотношениях. Если питание несбалансированное, то снижается работоспособность, запускается процесс разрушения мышечной массы и снижение работы иммунной системы [16].

Макронутриенты – пищевые вещества (белки, жиры и углеводы), необходимые человеку в количествах, измеряемых граммами, обеспечивают пластические, энергетические и иные потребности организма [7].

Энергетическая ценность пищевого рациона спортсменов обеспечивается за счет насыщения углеводами [17]. Содержание углеводов в организме спортсмена должно составлять 15 г. на 1 кг мышечной массы и 80–100 г. в печени. Для спортсменов, которые занимаются с высокой интенсивностью, необходимо потреблять 8–10 г. углеводов на 1 кг массы тела в день (от 400 до 1500 г. в день, в зависимости от веса спортсмена, который может составлять от 50 до 100 кг). Таким образом, доля углеводов может быть увеличена до 70% от общей калорийности [8, 9, 10]. Основными источниками углеводов являются продукты

зернового происхождения, фрукты и пищевые продукты с высоким содержанием крахмала, так как они содержат медленноусвояемые углеводы с низким гликемическим индексом.

Белки выполняют пластическую, энергетическую, каталитическую, гормональную, регуляторную, защитную, транспортную, энергетическую и другие функции. Для спортсменов потребность в белках зависит от интенсивности тренировок и может быть рассчитана на основе массы тела. Для средней интенсивности занятий (2–3 часа в день, 5–6 раз в неделю) потребность составляет 2,0 – 2,5 грамма белка на килограмм веса в день (100–375 грамм для спортсменов весом 50–150 кг), в то время как для высокой интенсивности занятий (3–6 часов в день, 5–6 раз в неделю) потребность повышается до 2,0–3,0 грамма белка на килограмм веса в день (100–450 грамм для атлетов весом 50–150 кг). Для некоторых категорий спортсменов, таких как бегуны, велосипедисты, пловцы, гимнасты, борцы, фигуристы и боксеры, характерно белковое недоедание, поэтому для них рекомендуется увеличение потребления белка до 2,0–3,2 грамма на килограмм массы тела в сутки [11]. Причем, количество животного белка у взрослых спортсменов должно быть не менее 60%, а у юных спортсменов – 70%, при этом 50% животных белков должно поступать за счет потребления мяса, рыбы, яиц и 20% – за счет молока и молочных продуктов [12].

Жиры (липиды) – являются сложными эфирами глицерина и высших жирных кислот. Они играют важную роль в источниках энергии для спортсменов. Суточная потребность спортсменов в жирах в период проведения соревнований и усиленных тренировок составляет 1,5–2,4 г на 1 кг массы тела. При этом в рационе должно быть 75–80% жиров животного происхождения и 20–25% жиров растительного происхождения. [13, 14]. Недостаток жиров в рационе приводит к заболеваниям кожи, авитаминозам и другим болезням. Излишек жиров в организме приводит к ожирению и некоторым другим заболеваниям, что недопустимо для людей, занимающихся спортом [4].

Потребность взрослого человека в жире обеспечивается его количеством, дающим около 30% общей калорийности пищи [23].

Результаты и обсуждения

Режим питания оказывает значительное влияние на состояние организма, его работоспособность и активность [3]. Поэтому необходимо учитывать частоту приема пищи, рекомендуемую не реже 3–4 раз в день, и предпочтительно в одно и то же время. Наилучшими отрезками между

приемами пищи, согласно результатам исследований, являются 4–5 часов.

Анализ данных показал, что большинство респондентов придерживаются рекомендуемой нормы частоты приема пищи, а также соблюдают указанные временные интервалы между приемами (рисунок 1). Это подтверждает важность

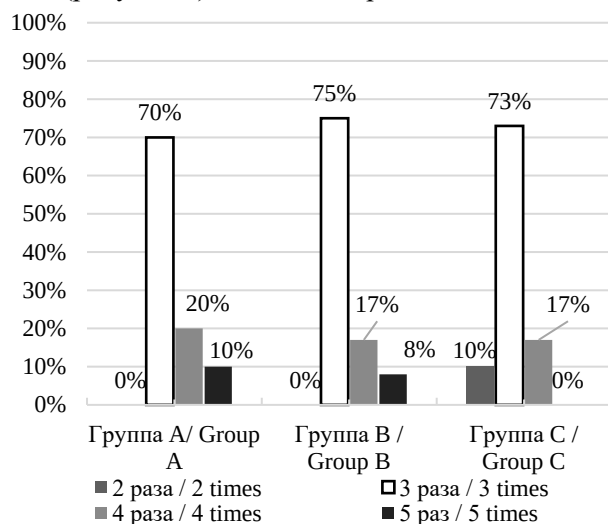


Рисунок 1. Режим питания спортсменов

Figure 1. Athletes' nutrition regime

Более того, большинство респондентов считают, что их рацион вполне соответствует виду спорта и они удовлетворены его качеством. Однако, при более подробном анализе данных опроса, выяснилось, что значительная доля спортсменов не знают об энергетической ценности и макронутриентах своих рационов. Это наблюдалось в 45–55% случаев, при этом различия между группами не были значимы. Кроме того, в 25–40% случаев спортсмены полагали, что их рацион отвечает всем требованиям, предъявляемым к спортивной диете, хотя это мнение не соответствовало действительности. Таким образом, можно сделать вывод о низкой информированности спортсменов в вопросах особенностей спортивного питания и их недооценке значимости этой проблемы.

При расчете энергозатрат необходимо учитывать в рацион питания достаточное количество углеводов и белков, количество жиров увеличивается и уменьшается при необходимости [4].

При занятиях в обычных фитнес-программах, которые включают в себя занятия длительностью 30–40 минут в день, 3 раза в неделю, рекомендуется расчет суточного рациона с энергоемкостью, колеблющейся от 1800 до 2400 ккал. Такой расчет основан на том, что в таких условиях энергетические затраты при занятиях составляют от 200 до 400 ккал за одно занятие. В случае профессиональных занятий

учета режима питания в поддержании здоровья и повышении работоспособности.

Также в результате опроса было выявлено, что спортсмены в большинстве случаев придерживаются общего рациона, а не используют индивидуальную диету (рисунок 2).

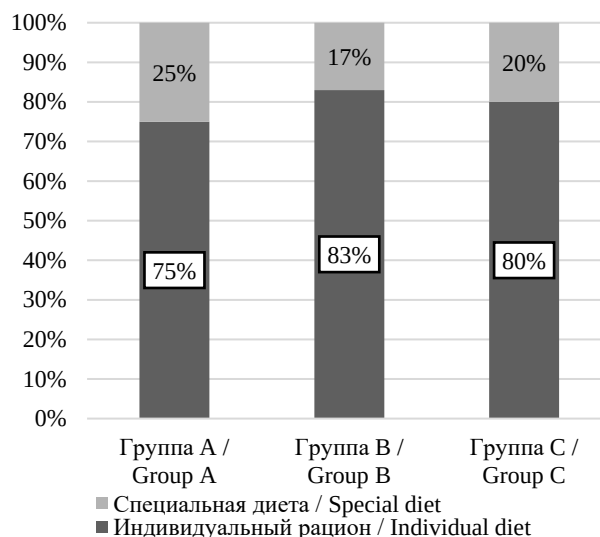


Рисунок 2. Выбор респондентам рациона питания и специальной диеты

Figure 2. Respondents' choice of diet and special diet

спортом, нагрузки делятся на два типа: среднюю интенсивность и высокую интенсивность. При средней интенсивности занятий, которые продолжаются 2–3 часа в день, 5–6 раз в неделю, спортсмены теряют от 600 до 1200 ккал за один час. При высокой интенсивности, которая предполагает занятия продолжительностью 3–6 часов в день, 5–6 раз в неделю, спортсмены могут потерять еще больше калорий. Расчет энергозатрат основан на понятии основного обмена (ОО), для которого существует множество формул. Наиболее удобны следующие формулы:

• Для мужчин от 18 лет:

$$ОО = 66,5 + 13,75 \times (\text{вес}) + 5 \times (\text{рост}) - 6,67 \times (\text{возраст});$$

• Для женщин от 18 лет:

$$ОО = 65,5 + 9,6 \times (\text{вес}) + 1,8 \times (\text{рост}) - 4,7 \times (\text{возраст}).$$

Однако, такие формулы не учитывают интенсивность тренировок. Каждый спортсмен должен получить индивидуальный расчет основного обмена в зависимости от своих потребностей. После расчета количества потребления калорий спортсмену следует некоторое время следить за изменениями в весе, самочувствия и состава тела, внося при необходимости коррективы. Для того чтобы составить полностью сбалансированный рацион, потребуется несколько месяцев, с учетом того, что потребности в энергозатратах меняются в зависимости

от характера тренировок. Однако, потребности в питании могут сильно отличаться в зависимости от таких факторов, как вес, рост, возраст, пол, метаболизм, характер и интенсивность упражнений, а также график поездок [5]. Поэтому, учитывая все эти факторы, необходимо составлять индивидуальные рационы, которые помогут спортсменам достичь наилучших результатов в своей дисциплине.

Энергетическая ценность (калорийность) питания определяется количеством энергии, которое может быть получено при окислении пищевых углеводов, жиров и белков до конечных продуктов (CO_2 , H_2O , NH_3). При окислении 1 г углеводов освобождается 4,1 ккал (или 17,2 кДж) энергии, 1 г белков – 5,4 ккал (или 22,6 кДж), 1 г липидов – 9,3 ккал (39,0 кДж) [6].

Научные исследования показывают, что соотношение белков, жиров и углеводов в рационе спортсменов должно быть примерно равным 1,0:0,8:4,0 или составлять 15% белков, 24% жиров и 61% углеводов по калорийности [15].

Так же не стоит забывать про поддержание водного баланса в организме. Для этого спортсменам необходимо пить много воды. Рекомендуется выпивать 0,5 литра за два-три часа до начала занятий и примерно столько же перед началом тренировки. Во время тренировки необходимо пить 200–300 мл жидкости каждые 10–20 минут на протяжении занятий, и после тренировки выпить 0,5–1,0 литр воды [18]. Если спортсмены удерживают водный баланс организма на правильном уровне, их тело лучше справляется с мышечной и сердечно-сосудистой усталостью.

Важнейшим условием сохранения и улучшения здоровья является здоровый образ

жизни, формирование которого составляет основу первичной профилактики многих заболеваний, чтобы рационально питаться, нужно иметь представление о составе продуктов, их биологической ценности и преобразовании питательных веществ в организме [24, 25].

Заключение

В настоящее время проблема разработки и регулирования рационов питания спортсменов весьма важна и актуальна. Соблюдение правил здорового питания профессиональными спортсменами делает их тренировки гораздо более эффективными. Такое питание позволяет организму положительно реагировать на физические нагрузки, тогда как неправильное питание, особенно при интенсивных физических и психических усилиях, имеет разрушительные последствия для спортивной формы и общего состояния здоровья спортсмена. Проведённое исследование свидетельствует о том, что осведомленность спортсменов о правильном питании невысока. Это приводит к нарушениям в спортивном питании, отрицательно сказывающимся на спортивных достижениях и на обмене веществ организма, а также на эмоциональном и психологическом состоянии.

Полученные результаты должны стать основой для пересмотра существующий подходов к разработке спортивного питания и оптимизации питания спортсменов. Это также должно способствовать стремлению самых спортсменов к изучению особенностей спортивного питания.

Литература

- 1 Strakowski M.M. Malnutrition in Rehabilitation // M.M. Strakowski, I.A. Strakowski, M.C. Mitchell /Am. J of Physical Med. & Rehabilitation. 2002. Vol. 81 (1). pp. 77–78.
- 2 Сухов С.В. Влияние биологически активных добавок к пище на физическую работоспособность и функциональные возможности дзюдоистов. // Вопросы питания. 2009 Т. 78. № 4. С. 77–74.
- 3 Лапкин М.М. Основы рационального питания. М. 2017.
- 4 Питание и диета для спортсменов // Е.А. Бойко. «ВЕЧЕ». Питание и диета. 2006.
- 5 Whitney E.N., Rolfes S.R. Understanding nutrition. Cengage learning. 2015.
- 6 Биохимические основы питания спортсменов // А.В. Ильяшук, И.Л. Гилеп; Белорус. гос. ун-т физ. культуры. Минск: БГУФК. 2020. С. 64.
- 7 О макро и микронутриентах URL: <http://86.rosпотреbnadzor.ru/news/o-makro-i-mikronutrientah>
- 8 Борисова О.О. Питание спортсменов: зарубежный опыт и практические рекомендации. М.: Советский спорт, 2007. С. 132.
- 9 Мартинчик А.Н. Алгоритм рационального питания спортсмена. // Медицина и спорт. 2005. № 1. С. 34–35.
- 10 Спортивная фармакология и диетология. // Т.В. Гишак [и др.]; под ред. С.А. Олейника, Л.М. Гуниной. М.: ООО «И.Д. Вильямс». 2008. С. 256.
- 11 Bier D.M. Amino acid pharmacokinetics and safety assessment //D.M. Bier Journal Nutrition. 2003. 133. pp. 2034–2039.
- 12 Bilsborough S., Mann N. A review of issues of dietary protein intake in humans // S. Bilsborough, N. Mann International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism. 2006. 16. pp. 129–152.
- 13 Clifton P.M., Nestel P.J. Effect of dietary cholesterol on postprandial lipoproteins in three phenotypic groups //P.M. Clifton & P.J. Nestel American Journal of Clinical Nutrition. 1996. 64. pp. 361–367.

- 14 Institute of Medicine. Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein and amino acids. National Academies Press, Washington, D.C., 2005. pp. 1358.
- 15 Кулиненко О.С. Медицина спорта высших достижений. М.: Спорт. 2016. С. 320.
- 16 Venkatraman J.T., Leddy J, Pendergast D. Dietary fats and immune status in athletes: clinical implications. *Mad Sci Sports Exerc.* 2000. 32. pp. 389–95.
- 17 Волгарев М.Н. Особенности питания спортсменов. // Теория и практика физической культуры. 1985. № 1. С. 34–39.
- 18 Вода: до, во время и после тренировки. URL: <http://vse-fit.ru/water-and-fitness/>
- 19 Czaja J, Lebidzińska A, Szefer P. Nutritional habits and diet supplementation of Polish middle and long distance representative runners (years 2004–2005) // *Roczniki Panstwowego Zakladu Higieny.* 2008. Vol. 59(1). pp. 67–74.
- 20 Коростелева М.М., Никитюк Д.Б., Волкова Л.Ю. Особенности организации питания юных спортсменов // Вопросы питания. 2013. Vol. 82(6). С. 41–48.
- 21 Jessri M., Jessri M., RashidKhani B., Zinn C. Evaluation of Iranian college athletes sport nutrition knowledge // *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism.* 2010. Vol. 20. pp. 257–263.
- 22 Nowacka E., Leszczyńska T., Kopeć A., Hojka D. Nutritional behavior of Polish canoeist's athletes // *The interest of nutritional education. Science and Sports.* 2016. Vol. 31(4). p. 79.
- 23 Питкин В.А., Шабельный А.П. Особенности питания тяжелоатлетов. // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий.* 2022. Т. 84. № 2 (92). С. 122–127.
- 24 Питкин В.А., Синько О.В., Хрипко И.А. Роль правильного питания в жизни студента. // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий.* 2022. Т. 84. № 2 (92). С. 110–114.
- 25 Еременко В.Н., Лыткин А.В., Мишагина И.В., Синько О.В., Тюпенькова Г.Е., Лучинина И.Г. Физиология пищеварения и основы рационального питания. // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий.* 2019. Т. 81. № 4 (82). С. 159–165.
- 26 Кайшева А.И., Лысенко Н.В., Ерёменко В.Н., Синько О.В., Питкин В.А. Влияние питания на функциональное состояние человека, занимающегося физической культурой. // *Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник).* 2021. № 2. С. 243–247.

References

- 1 Strakowski M.M. Malnutrition in Rehabilitation // M.M. Strakowski, I.A. Strakowski, M.S. Mitchell // *Am. J of Physical Med. & rehabilitation.* 2002 Vol. 81(1). pp. 77–78.
- 2 Sukhov S.V. The influence of biologically active food supplements on the physical performance and functionality of judo wrestlers. // *Nutrition issues.* 2009 T. 78. No. 4. pp. 77–74.
- 3 Lapkin M.M. Fundamentals of rational nutrition. M. 2017.
- 4 Nutrition and diet for athletes // E.A. Boyko. "VECHE". Nutrition and diet. 2006.
- 5 Whitney E.N., Rolfes S.R. understanding nutrition. Cengage learning. 2015.
- 6 Biochemical basis of nutrition of athletes // A.V. Ilyutik, I.L. Gilep; Belarusian state University of Physics culture. Minsk: BSUPC. 2020. pp. 64.
- 7 About macro and micronutrients URL: <http://86.rosпотреbnadzor.ru/news/o-makro-i-mikronutrientah>
- 8 Borisova O.O. Nutrition of athletes: foreign experience and practical recommendations. M.: Soviet sport, 2007. pp. 132.
- 9 Martinchik A.N. Algorithm for rational nutrition of an athlete. // *Medicine and sport.* 2005. No. 1. pp. 34–35.
- 10 Sports pharmacology and dietetics. // T.V. Gischak [and others]; ed. S.A. Oleinik, L.M. Gunina. Moscow: "I.D. Williams". 2008. pp. 256.
- 11 Bier D.M. Amino acids pharmacokinetics and safety assessment // D.M. Bier *Journal Nutrition.* 2003. 133. pp. 2034–2039.
- 12 Bilsborough S., Mann N. A review of issues of dietary protein intake in humans // S. Bilsborough, N. Mann *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism.* 2006. 16. pp. 129–152.
- 13 Clifton P.M., Nestel P.J. Effect of dietary cholesterol on postprandial lipoproteins in three phenotypic groups // P.M. Clifton & P.J. Nestel *American Journal of Clinical Nutrition.* 1996. 64. pp. 361–367.
- 14 Institute of Medicine. Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein and amino acids. National Academies Press, Washington, D.C., 2005. pp. 1358.
- 15 Kulinenkov O.S. Medicine of sports of higher achievements. M.: Sport. 2016. pp. 320.
- 16 Venkatraman J.T., Leddy J, Pendergast D. Dietary fats and immune status in athletes: clinical implications. *Mad Sci Sports Exerc.* 2000. 32. pp. 389–95.
- 17 Volgarev M.N. Features of nutrition of athletes. // *Theory and practice of physical culture.* 1985. No. 1. pp. 34–39.
- 18 Water: before, during and after training. URL: <http://vse-fit.ru/water-and-fitness/>
- 19 Czaja J, Lebidzińska A, Szefer P. Nutritional habits and diet supplementation of Polish middle and long distance representative runners (years 2004–2005) // *Roczniki Panstwowego Zakladu Higieny.* 2008 Vol. 59(1). pp. 67–74.
- 20 Korosteleva M.M., Nikityuk D.B., Volkova L. Yu. Features of the organization of nutrition for young athletes // *Questions of nutrition.* 2013. Vol. 82(6). pp. 41–48.
- 21 Jessri M., Jessri M., RashidKhani B., Zinn C. Evaluation of Iranian college athletes sport nutrition knowledge // *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism.* 2010. Vol. 20. pp. 257–263.
- 22 Nowacka E., Leszczyńska T., Kopeć A., Hojka D. Nutritional behavior of Polish canoeist's athletes // *The interest of nutritional education. science and sports.* 2016. Vol. 31(4). p. 79.

23 Pitkin V.A., Shabelny A.P. Features of nutrition of weightlifters. //Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2022. V. 84. No. 2 (92). pp. 122–127.

24 Pitkin V.A., Sin'ko O.V., Khripko I.A. The role of proper nutrition in the life of a student. //Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2022. V. 84. No. 2 (92). pp. 110–114.

25 Eremenko V.N., Lytkin A.V., Mishagina I.V., Sin'ko O.V., Tyupenkova G.E., Luchinina I.G. Physiology of digestion and the basis of rational nutrition. //Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2019. V. 81. No. 4 (82). pp. 159–165.

26 Kaisheva A.I., Lysenko N.V., Eremenko V.N., Sin'ko O.V., Pitkin V.A. The influence of nutrition on the functional state of a person involved in physical culture. //The science. Technique. Technologies (polytechnic bulletin). 2021. No. 2. pp. 243–247.

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>

Анастасия А. Родионова студент, институт компьютерных систем и информационной безопасности, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Россия, lendumat13@yandex.ru

Вклад авторов

Виктор А. Питкин предложил методику проведения эксперимента и организовал производственные испытания

Анастасия А. Родионова написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Victor A. Pitkin senior lecturer, department of Physical Education and Sports, Kuban State Technological University, Moskovskaya str., 2. Krasnodar. 350072 Russia, irvik25@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6356-6501>

Anastasia A. Rodionova student, institute of computer systems and information security, Kuban State Technological University, Moskovskaya str., 2. Krasnodar. 350072 Russia, lendumat13@yandex.ru

Contribution

Victor A. Pitkin proposed a scheme of the experiment and organized production trials

Anastasia A. Rodionova 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 05/03/2023	После редакции 15/03/2023	Принята в печать 15/04/2023
Received 05/03/2023	Accepted in revised 15/03/2023	Accepted 15/04/2023

Качественный и количественный анализ на содержание бензойной, салициловой, сорбиновой и глицирризиновой кислот в водном экстракте люцерны посевной

Алексей Н. Крячко¹ erakond@bk.ru  0000-0001-5673-9646

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

Аннотация. В статье представлены результаты опытно-экспериментальных исследований по оценке содержания в водно-спиртовом экстракте люцерны посевной (*Medicago sativa* L.) и в её конденсированном экстракте (БАД «Эраконд») бензойной, салициловой, сорбиновой и глицирризиновой кислот, относящихся к классу консервантов природного происхождения. Качественный и количественный анализ проводился методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на хроматографе Waters Breeze (Waters, США). Содержание кислот, наделённых антисептическими и фунгицидными свойствами, воздушно-сухом сырье люцерны посевной составило, мг/г: бензойной – $3,2 \pm 0,3$; салициловой – $1,8 \pm 0,2$; сорбиновой – $0,15 \pm 0,11$; глицирризиновой – $2,0 \pm 0,3$. Технология гидробарического экстрагирования, использованная в процессах промышленного производства биологически активной добавки «Эраконд» из люцерны посевной, обеспечила концентрирование анализируемых кислот в готовом препарате: содержание бензойной кислоты в БАД «Эраконд» составило $26,0 \pm 3,0$ мг/г, салициловой – $2,9 \pm 0,3$ мг/г, сорбиновой – $0,22 \pm 0,03$ мг/г, глицирризиновой – $5,2 \pm 0,6$ мг/г. Раскрыты механизмы реализации антиоксидантных свойств полифенольных соединений люцерны посевной, проявляющих синергидный консервирующий эффект совместно с идентифицированными органическими кислотами. Относительно высокая концентрация полифенольных соединений в «БАД Эраконд» (нарингенин – $0,05 \pm 0,0006$; рутин – 8 ± 3 ; ликуразид – $3,5 \pm 0,4$; кверцетин – $0,04 \pm 0,001$; физетин – $0,35 \pm 0,01$; нарингин – $0,5 \pm 0,0006$; дигидрокверцетин – $0,20 \pm 0,002$) обеспечивает высокую устойчивость эракондсодержащих продуктов питания при длительном хранении с сохранением пищевых, вкусовых и биологических свойств. Сочетанное антисептическое и антиоксидантное действие *in vitro* органических кислот, полифенольных соединений, эфирных масел, кумаринов и сапонинов растительного генеза обеспечивает эффективность применения натуральных консервантов в технологиях пищевой промышленности.

Ключевые слова: консерванты, органические кислоты, полифенольные соединения, экстракт люцерны, БАД «Эраконд»

Qualitative and quantitative analysis for the content of benzoic, salicylic, sorbic and glycyrrhizic acids in an aqueous extract of alfalfa

Aleksej N. Krjachko¹ erakond@bk.ru  0000-0001-5673-9646

1 K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (the First Cossack University), st. Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia

Abstract. The article presents the results of experimental studies on the assessment of the content of benzoic, salicylic, sorbic and glycyrrhizic acids in the aqueous-alcoholic extract of alfalfa (*Medicago sativa* L.) and in its condensed extract (BAA «Erakond»), belonging to the class of preservatives of natural origin. Qualitative and quantitative analysis was carried out by high performance liquid chromatography (HPLC) on a Waters Breeze chromatograph (Waters, USA). The content of acids endowed with antiseptic and fungicidal properties in the air-dry raw material of alfalfa was, mg/g: benzoic – 3.2 ± 0.3 ; salicylic – 1.8 ± 0.2 ; sorbic – 0.15 ± 0.11 ; glycyrrhizin – 2.0 ± 0.3 . The technology of hydrobaric extraction, used in the industrial production of the dietary supplement «Erakond» from alfalfa, ensured the concentration of the analyzed acids in the finished product: the content of benzoic acid in the dietary supplement «Erakond» was 26.0 ± 3.0 mg/g, salicylic acid – 2.9 ± 0.3 mg/g, sorbic – 0.22 ± 0.03 mg/g, glycyrrhizin – 5.2 ± 0.6 mg/g. The mechanisms of implementation of the antioxidant properties of polyphenolic compounds of alfalfa, which exhibit a synergistic preservative effect together with identified organic acids, are disclosed. Relatively high concentration of polyphenolic compounds in Erakond dietary supplement (naringenin – 0.05 ± 0.0006 ; rutin – 8 ± 3 ; licuraside – 3.5 ± 0.4 ; quercetin – 0.04 ± 0.001 ; fisetin – 0.35 ± 0.01 ; naringin – 0.5 ± 0.0006 ; dihydroquercetin – 0.20 ± 0.002) provides high stability of Eracond-containing food products during long-term storage with preservation of nutritional, taste and biological properties. The combined antiseptic and antioxidant action *in vitro* of organic acids, polyphenolic compounds, essential oils, coumarins and plant saponins ensures the effectiveness of the use of natural preservatives in food industry technologies.

Keywords: preservatives, organic acids, polyphenolic compounds, alfalfa extract, dietary supplement «Erakond»

Для цитирования

Крячко А.Н. Качественный и количественный анализ на содержание бензойной, салициловой, сорбиновой и глицирризиновой кислот в водном экстракте люцерны посевной // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 85. № 2. С. 116–122. doi:10.20914/2310-1202-2022-2-116-122

For citation

Krjachko A.N. Qualitative and quantitative analysis for the content of benzoic, salicylic, sorbic and glycyrrhizic acids in an aqueous extract of alfalfa. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2022. vol. 85. no. 2. pp. 116–122. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2022-2-116-122

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

Введение

В современных условиях организм человека испытывает, с одной стороны, негативное действие широкого спектра техногенных факторов, с другой – ксенобиотических субстратов, входящих в состав продуктов питания. Увеличению доли ксенобиотиков в составе пищевых продуктов, безусловно, способствует широкое применение ядохимикатов (пестицидов) при сельскохозяйственных работах как средств химической защиты растений, а именно: хлор-, фосфор-, ртутьорганических соединений и нитрофенолов. Остаточные количества вышеперечисленных ядохимикатов в составе пищевых продуктов способны депонироваться в организме человека оказывая общетоксическое, политропное и сенсибилизирующее воздействие, что приводит к патофизиологическим сдвигам, явлениям патоморфоза внутренних органов и аллергическим реакциям. Увеличению доли ксенобиотитков в составе продуктов питания способствует добавление консервирующих веществ, в том числе химических соединений с побочными эффектами. Изучению побочного воздействия консервантов посвящены многочисленные исследования, результаты которых отражены в публикациях отечественных и зарубежных авторов [1–5]. Наиболее широко применяемый консервант бензоат натрия (Е-211) проявляет *in vivo* широкий спектр побочных эффектов путём ингибирования внутриклеточных антиоксидантов – Fe-зависимой каталазы и Se-зависимой глутатионпероксидазы, катализирующих реакции обезвреживания H_2O_2 при её высоких концентрациях [6–10]. В настоящее время отмечаются тенденции к уменьшению ксенобиотиков в пищевых продуктах, в том числе снижением абсолютного количества химических консервантов путем их сочетания с природными пищевыми добавками, которые характеризуются высокой антимикробной, фунгицидной и антиоксидантной активностью. Одно из новых направлений в технологиях консервирования пищевых продуктов – использование наземных частей растений *Artemisia campestris* L (полынь горькая), содержащих в своём составе эфирные масла (1,8-цинеол, камфора, артемизия-спирт и др.), проявляющие высокую антимикробную активность и фунгицидную активность [11]. Согласно органолептической и дегустационной оценки, реализованной авторами, сырье данных видов не содержит горечи, что указывает на перспективность его использования в пищевой промышленности в качестве натурального консерванта [11]. В качестве источника натуральных консервантов растительного генеза используется экстракт плодов брусники и клюквы, содержащие в своем составе широкий спектр органических кислот с антиоксидантной и антимикробной видами активности: бензойную, лимонную,

яблочную, винную, щавелевую, салициловую, α -кетоглутаровую, молочную и уксусную [12]. Установлено, что сок ягод брусники подавляет рост и размножение грибов рода *Candida*, а также проявляет бактерицидные свойства по отношению к *Staph. ruogenusaureus*, *Bac. colicommunis*, *Proteusvulgaris* [13]. Безусловно, следует считать актуальными исследования, направленные на выявление новых видов консервантов натурального происхождения с целью уменьшения количества ксенобиотических субстратов в консервированных видах пищевой продукции. Представляет несомненный интерес выявление биологически активных веществ с антиоксидантной и антимикробной активностью в составе плодово-ягодных культур и лекарственных растениях, обеспечивающих реализацию консервирующих свойств в отношении органической составляющей пищевой продукции.

Цель работы – выявление спектра консервантов натурального генеза в водном экстракте люцерны посевной, обеспечивающих пролонгирование сроков хранения пищевой продукции.

Материалы и методы

В качестве натурального консерванта использовали экстракт растительный конденсированный люцерны посевной (*Medicago sativa* L.), полученный из наземной части растения методом гидробарометрического экстрагирования (свидетельство ГОС. РЕГ. РФ: № RU № 77.99.88.003E.000027.01.18 от 10.01.2018 г., выданное НПО ООО «Эраконд»). Водный экстракт люцерны посевной, реализуемый под торговой маркой БАД «Эраконд», характеризуется наличием широкого спектра биологически активных веществ, способных *in vivo* корректировать патофизиологические сдвиги при патологиях различного генеза [14]. Одна из задач настоящих исследований состояла в качественном и количественном анализе бензойной, салициловой, сорбиновой и глицирризиновой кислот методом высокоэффективной жидкостной хроматографии в спиртовом экстракте люцерны посевной (*Medicago sativa* L.) и в БАД «Эраконд».

Количественное определение кислот проводилось методом ВЭЖХ в стандартных растворах на хроматографе Waters Breeze (Waters, США) со спектрофотометрическим детектором. Определение проводили на колонке PursuitC18, 4,6 x 250 мм, 5 мкм (Agilent Technologies, Нидерланды). В качестве подвижной фазы применили элюент метанол – 0,3 н уксусная кислота от 80 до 20 (об.%). Скорость потока подвижной фазы составляла 1,0 мл/мин. Анализируемые образцы объемом 50 мкл вводили в хроматограф с использованием автосамплера и записывали хроматограмму. Время анализа 20 мин. Детектирование проводилось при аналитических длинах волн 254 и 305 нм.

В коническую колбу вместимостью 250 мл помещали 10 г. измельченного воздушно-сухого сырья люцерны и приливали 100 мл 70 %-го этилового спирта. Экстрагировали в течение 4 часов при периодическом перемешивании при комнатной температуре. Полученный раствор фильтровали через фильтр Шотта с размерами пор 100 мкм. Экстракцию повторяли еще 2 раза. Объединенный спиртовой экстракт упаривали на роторном испарителе Heidolph (Германия). Количество извлеченных экстрактивных веществ определяли весовым методом после удаления растворителя и достижения постоянной массы колбы с высушенным экстрактом.

Результаты

На первом этапе работы строили градуировочные графики стандартных растворов бензойной, сорбиновой, салициловой и глицирризиновой кислот. Растворы стандартных веществ с концентрациями 0.25, 0.5 и 1.0 мг/мл для глицирризиновой кислоты, 0.005, 0.01 и 0.02 мг/мл для сорбиновой кислоты, 0.20, 0.5 и 1.0 мг/мл для салициловой кислоты и 0.36, 0.25 и 0.10 мг/мл для бензойной кислоты готовили путем растворения навесок соответствующих веществ в элюенте метанол: 0.3 н уксусная кислота = 80 : 20 (объем. %) в мерных колбах на 25 мл. Для каждого стандартного раствора записывали хроматограмму по вышеописанной методике.

Пробу экстрактов объемом 50 мкл вводили в хроматограф с использованием автосамплера и записывали хроматограмму. Каждый образец анализировали по 4 раза. Растворы экстрактов в элюенте готовили с концентрацией 5 мг/мл (для спиртовых экстрактов люцерны) и 10 мг/мл (для БАД «Эраконд»). По площадям пиков веществ с определенным временем выхода, с использованием градуировочных графиков стандартных веществ определяли концентрации кислот в экстрактах. Статистическую обработку проводили по результатам 4 определений каждого образца. Хроматограммы водно-спиртовых экстрактов люцерны приведены на рисунке 1. На рисунке 2

представлены хроматограммы образца БАД «Эраконд», произведенной из люцерны посевной.

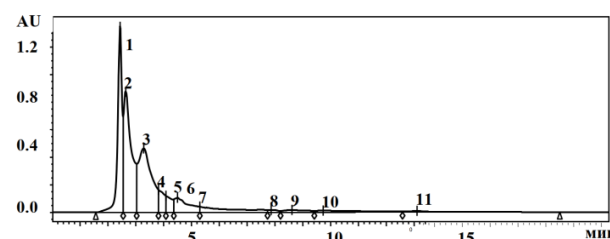


Рисунок 1. Хроматограмма водно-спиртового экстракта люцерны 5мг/мл при 254 нм

Figure 1. Chromatogram of an aqueous-alcoholic extract of alfalfa 5 mg/ml at 254 nm

Вещество со временем выхода 4.08 мин. (пик 5) – бензойная кислота; 3.82 мин. (пик 4) – сорбиновая кислота; 4.50 мин. (пик 6) – салициловая кислота; 7.86 (пик 8) и 8.61 мин. (пик 9) – α - и β -глицирризиновая кислота, соответственно.

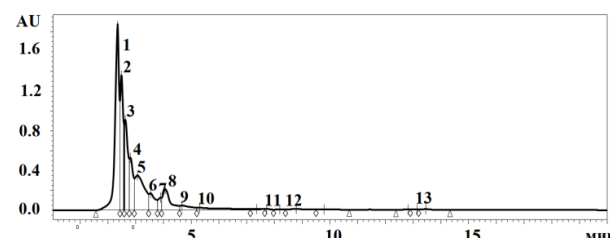


Рисунок 2. Хроматограмма образца БАД «Эраконд» 10 мг/мл при 254 нм

Figure 2. Chromatogram of a sample of dietary supplement «Erakond» 10 mg/ml at 254 nm

Вещество со временем выхода 4.06 мин. (пик 8) – бензойная кислота; 3.89 мин. (пик 7) – сорбиновая кислота; 4.67 мин. (пик 9) – салициловая кислота; 8.19 (пик 11) и 8.79 мин. (пик 12) – α - и β -глицирризиновая кислота. Сопоставление времен удерживания пиков веществ на хроматограммах анализируемых образцов со временами удерживания пиков стандартных образцов позволили идентифицировать и установить количественное содержание кислот в анализируемых образцах (таблица 1).

Таблица 1.

Содержание органических кислот в пересчете на сухую массу люцерны

Table 1.

The content of organic acids in terms of dry weight of alfalfa

Кислоты Acids		Содержание кислот, мг/г от сухой массы Acid content, mg/g from dry weight	
		Образец Sample	
		Водно-спиртовой экстракт люцерны Aqueous-alcoholic extract of alfalfa	БАД «Эраконд»* Dietary supplement «Erakond»*
Бензойная	Benzoic	3,2 ± 0,3	26,0 ± 3
Салициловая	Salicylic	1,8 ± 0,2	2,9 ± 0,3
Сорбиновая	Sorbic	0,15 ± 0,11	0,22 ± 0,03
Глицирризиновая	Glycyrrhizic	2,0 ± 0,3	5,2 ± 0,6
*мг/г БАД «Эраконда» (mg/g BAA «Erakond»)			

Таким образом, содержание кислот, определенное методом ВЭЖХ, в водно-спиртовом экстракте люцерны составляет: 3,2 мг/г бензойной, $1,8 \pm 0,2$ мг/г салициловой, $0,15 \pm 0,11$ мг/г сорбиновой, $2,0 \pm 0,3$ мг/г глицирризиновой. В БАД «Эраконд» содержится – $26,0 \pm 3$ мг/г бензойной, $2,9 \pm 0,3$ мг/г салициловой, $0,22 \pm 0,03$ мг/г сорбиновой и $5,2 \pm 0,6$ мг/г глицирризиновой кислот. Как видно из таблицы, процессы гидробарического экстрагирования растительного сырья влияют на выход экстрактивных веществ: содержание бензойной кислоты в «Эраконде» составило $26,0 \pm 3,0$ мг/г против $3,2 \pm 0,3$ мг/г в водно-спиртовом экстракте люцерны – увеличение 8,1 раза. Используемые технологии способствовали и значительному депонированию глицирризиновой кислоты: её содержание в «Эраконде» составило $5,2 \pm 0,6$ мг/г против $2,0 \pm 0,3$ мг/г в исходном сырье – увеличение в 2,6 раза (таблица 1).

Обсуждение

Известна технология консервирования продуктов питания [15], в частности столовых яиц с использованием 20 %-го водного экстракта люцерны «Эраконд». Преимущество способа перед аналогами – обеспечение качественных характеристик столовых яиц без применения ксенобиотических консервантов с увеличением сроков хранения до 35 суток. В соответствии с разработанной технологией яйца выдерживают в 20 % растворе «Эраконда» в течение 1 минуты, высушивают при комнатной температуре в течение 4 часов, что обеспечивало сохранение качественных характеристик продукта в соответствии с требованием ГОСТ Р 55502–2013: высота воздушной камеры на 35-е сутки хранения – не более 7 мм, желток – прочный с чёткими очертаниями, белок плотный, прозрачный.

Выяснение механизмов реализации антиоксидантных, антиокислительных, фунгицидных, противовирусных и антимикробных свойств экстрактов растительного генеза имеет важное значение для расширения спектра применяемых в пищевой промышленности биосовместимых консервантов. Результаты собственных исследований, анализ отечественной и зарубежной литературы свидетельствуют о наличии в составе «Эраконда» ингредиентов, обеспечивающих в совокупности реализацию вышеперечисленных видов активности [16]. Идентифицированные в растительном экстракте «Эраконд» органические кислоты, как известно, реализуют бактерицидные, бактериостатические и фунгицидные свойства. Бензойная кислота (C_6H_5OON), относящаяся к классу карбоновых кислот ароматического ряда, реализует антимикробные и противогрибковые свойства ингибируя активность

ферментов и процессы метаболизма, вызывая деструкцию биомембран во многих одноклеточных организмах, плесени и некоторых бактерий [17]. Салициловая кислота (2-гидрокси бензойная или фенольная кислота) и её производные (салицилат натрия, аспирин, салициламид) благодаря выраженному антисептическому действию находят широкое применение не только в пищевой промышленности, но и в медицине, где рекомендуются как эффективное жаропонижающее, противовоспалительное, противоревматическое и болеутоляющее средство. Выделенная из экстрактов люцерны сорбиновая кислота (транс, транс – 2,4 – гексадиеновая кислота) считается «общепризнанной безопасной» субстанцией натурального происхождения для применения в качестве пищевой добавки с антимикробной и фунгицидной активностью [17]. В отличие от вышеперечисленных органических кислот, консервантов природного генеза, экстрагированная из состава люцерны посевной глицирризиновая кислота ($C_{42}H_{65}O_{16}$), ингибирует развитие не только микроорганизмов, но и вирусов в концентрациях, не токсичных для клинически здорового человека [18].

Качество продуктов питания на этапах хранения преимущественно предопределяется интенсивностью процессов гидролиза и свободнорадикального окисления липидов. Натуральные консерванты, содержащие в своём составе антиоксиданты растительного генеза, способны ингибировать реакции свободнорадикального окисления липидов, индуцируемых так называемыми активными формами кислорода ($O_2^{\bullet-}$ – супероксид-анион кислорода, $O_2H^{\bullet}$ – гидропероксильный и $OH^{\bullet}$ – гидроксильный радикалы, H_2O_2 – пероксид водорода). Результаты ранее проведённых собственных исследований показали, что БАД «Эраконд» содержит в своём составе широкий спектр полифенольных соединений, отличающихся высокой антиоксидантной активностью. Количественное определение полифенольных соединений в БАД «Эраконд» методом ВЭЖХ позволило идентифицировать и установить содержание следующих флавоноидов, мг/г «Эраконда»: нарингенин – $0,05 \pm 0,0006$; рутин – 8 ± 3 ; ликуразид – $3,5 \pm 0,4$; кверцетин – $0,04 \pm 0,001$; физетин – $0,35 \pm 0,01$; нарингин – $0,5 \pm 0,0006$; дигидрокверцетин – $0,20 \pm 0,002$ [19].

Флавоноиды, как известно, наиболее многочисленный класс полифенольных соединений, для которых характерен широкий спектр активности и малая токсичность. В функциональном отношении флавоноиды относятся к классу фитоалексинов – растительных антибиотиков, рекомендуемых для антимикробной терапии таких заболеваний как пиелонефрит, стафилококковая

пневмония, хронический пиелонефрит, а также ряда нозокомиальных инфекций. Установлено, что дигидрокверцетин проявляет выраженную антимикробную активность *in vitro* при концентрации 0,15 мМ и показывает большую удельную бактерицидную активность относительно традиционного антибактериального препарата Левомеколь, минимально действующая концентрация которого в отношении *St. aureus* составляет 24,2 мМ [20].

Многочисленные исследования показали, что флавоноиды проявляют антиоксидантную активность как в липидной, так и в водной фазах органических субстанций, ингибируют процессы свободнорадикального перекисного окисления липидов, взаимодействуя с АФК, алкоксильными ($RO\cdot$) и пероксильными ($ROO\cdot$) радикалами [16, 21]. Другой механизм реализации антиоксидантных свойств флавоноидов, идентифицированных в эраконде – хелатирование металлов переменной валентности (Fe^{2+} , Cu^{2+} и Mn^{2+}), способных запускать каскад реакций образования АФК: $O_2\cdot$, $OH\cdot$, $O_2H\cdot$, H_2O_2 [22].

Поликомпонентный состав растений обеспечивает многонаправленность действия консервантов растительного генеза. Люцерна посевная в своём составе содержит, помимо органических кислот и флавоноидов, другие классы природных антисептиков – куместаны и сапонины, проявляющие мягкое антиоксидантное, противомикробное и противогрибковое действие [23].

Заключение

Результаты исследований позволили идентифицировать в водном экстракте люцерны посевной (*Medicago sativa* L.) органические кислоты (бензойная, салициловая, сорбиновая, глицеризиновая), ингибирующие развитие пороков пищевой продукции за счёт антисептических, фунгицидных и противовирусных свойств. Реализация антиокислительных свойств экстракта люцерны обеспечивается за счёт флавоноидной составляющей, подавляющей процессы липопероксидации пищевой продукции. Сочетанное действие выявленных органических кислот и флавоноидов, на наш взгляд, обеспечивает эффективность консервирования продуктов питания с использованием конденсированных водных экстрактов люцерны посевной. Следует считать перспективными исследования, направленные на идентификацию в лекарственных травах фармакологически активных органических кислот, полифенольных соединений, сапонинов и производных кумарина с целью их применения в качестве натуральных консервантов.

Благодарности

Хроматографический анализ выполнен на оборудовании ЦКП «Химия» УФИХ УФИЦ РАН и РЦКП «Агидель» УФИЦ РАН. Выражаем благодарность сотрудникам лаборатории ФХМА УФИХ УФИЦ РАН к.х.н., в.н.с. Иванову С.П. и к.х.н., н.с. Петровой С.Ф. за консультирование и методологическую помощь в выполнении исследований.

Литература

- 1 Смоленцев С.Ю. Экологические основы обеспечения безопасности сырья и пищевой продукции животного происхождения // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2021. № 23. С. 538–539.
- 2 Galyautdinova G.G., Egorov V.I., Saifutdinov A.M. et al. Detection of tetracycline antibiotics in honey using high-performance liquid chromatography // International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences. 2020. V. 11. № 1. P.313–314.
- 3 Hairullin D.D., Zinnatov F.F., Shakirov Sh.K. et al. Section Original Articles Study of Scar Content in Cows When Using Carbohydrate-Vitamin-Mineral Concentrate «LS» // International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences. 2020. V. 11. № 2. P. 2241–2243.
- 4 Tarasova E.Yu., Matrosova L.E., Tanaseva S.A. et al. Protective effect of adsorbent complex on morphofunctional state of liver during chicken polymycotoxicosis // Systematic Reviews in Pharmacy. 2020. V. 11. № 11. P. 264–268.
- 5 Yakupov T.R., Valiev M.M., Zinnatov F.F. et al. Features of humoral immunity in cows infected with the leukaemia virus // International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences. 2020. V. 11. № 1. P. 290–293.
- 6 Минченко Л.А. Пищевая добавка "бензоат натрия": применение в пищевой промышленности // Вопросы устойчивого развития общества. 2021. № 3. С. 16–21. doi: 10.34755/IROK.2021.21.37.014
- 7 Azuma S.L., Quartey N.K.-A., Ofosu I.W. Sodium benzoate in non-alcoholic carbonated (soft) drinks: Exposure and health risks // Scientific African. 2020. V. 10. P. e00611 doi: 10.1016/j.sciaf.2020.e00611
- 8 Самойлов А.В., Сураева Н.М., Зайцева М.В., Петров А.Н. Оценка последствий токсических эффектов пищевых консервантов методом биотестирования // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 4. С. 71–75. doi: 10.31857/S2500262721040153
- 9 Dosay-Akbulut M. Determination of DNA Damage caused by food additives using comet assay method // Progr. Nutr. 2021.V. 22. №. 4. P. e2020071. URL: <https://mattioli1885journals.com/index.php/progressinnutrition/article/view/9095>
- 10 Younes M., Aquilina G., Castle L. et al. Scientific Opinion on the follow-up of the re-evaluation of sorbic acid (E200) and potassium sorbate (E202) as food additives // EFSA Journal. 2019. V. 17. №. 3:5625. URL: <https://efsaonline.library.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2019.5625>
- 11 Логвиненко Л.А., Шевчук О.М., Кравченко Е.Н. Интродукционное изучение некоторых видов полыни коллекции ароматических и лекарственных растений Никитского ботанического сада // Аграрный вестник Урала. 2019. № 4(183). С. 59–63. doi: 10.32417/article_5cf9f5c5bfb246.48831055.
- 12 Еремеева Н.Б., Макарова Н.В. Изучение антиоксидантных свойств лекарственных растений и их влияние на микробную порчу полуфабрикатов мяса, птицы и рыбы // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2021. Т. 11. № 4(39). С. 590–602. doi: 10.21285/2227–2925–2021–11–4–590–602

- 13 Яшин А.Я., Яшин Я.И., Липеева А.В. Клюква: химический состав, биологическая активность и перспективы фармацевтического применения // Лаборатория и производство. 2022. № 3–4(21). С. 56–69. doi: 10.32757/2619-0923.2022.3-4.21.56.69
- 14 Кари М., Байматов В.Н., Козлов В.Н. и др. Оценка радиопротекторных свойств «Эраконд-хитозана» // Известия Международной академии аграрного образования. 2018. № 42–1. С. 132–136.
- 15 Пат. № 2634552, RU, A23B 5/06. Способ консервирования яиц / Козлов В.Н., Ибрагимов В.Р., Максютков Р.Р., Пономарев Е.Е. № 2016149690; Заявл. 16.12.2016; Опубл. 31.10.2017. Бюлл. № 31.
- 16 Вейко А.Г. Флавоноиды: молекулярные свойства и антиоксидантный потенциал // Лабораторная диагностика. Восточная Европа. 2021. Т. 10. № 3. С. 309–326. doi: 10.34883/PI.2021.10.3.015
- 17 Абакаров Г.М., Абакарова О.Г., Джамалова С.А., Алимурзова З.М. Консерванты в пищевой промышленности // Повышение качества и безопасности пищевых продуктов: материалы IX Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), Махачкала, 23–24 октября 2019 года ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет». Махачкала: Информационно-Полиграфический Центр ДГТУ, 2019. С. 179–181.
- 18 Оковитый С.В., Райхельсон К.Л., Волнухин А.В., Кудлай Д.А. Гепатопротекторные свойства глицирризиновой кислоты // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2020. № 12 (184). С. 96–108. doi: 10.31146/1682-8658-ecg-184-12-96-108
- 19 Kryachko A.N., Khafizova R.R., Kozlov V.N. et al. Content of some flavonoids in alfalfa and its water extract "Eracond" // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. V. 848. №. 1. P. 012015. doi: 10.1088/1755-1315/848/1/012015
- 20 Шевелев А.Б., Исакова Е.П., Трубникова Е.В. и др. Исследование антимикробной активности полифенолов из древесного сырья // Вестник российского государственного медицинского университета. 2018. № 4. С. 53–56. doi: 10.24075/vrgmu.2018.043
- 21 Габитова Д.М., Рыжикова М.А. Особенности антиоксидантного действия растительных флавоноидов // Башкирский химический журнал. 2020. Т. 27, № 4. С. 19–21. doi: 10.17122/bcj-2020-4-19-21
- 22 Caro A.A., Davis A., Fobare S., Horan N., Ryan C., Schwab C. Antioxidant and pro-oxidant mechanisms of (+) – catechin in microsomal CYP2E1-dependent oxidative stress // Toxicology in Vitro. 2019. V. 54. P. 1–9. doi: 10.1016/j.tiv.2018.09.001
- 23 Марьин А.А., Танцерева И.Г., Большаков В.В., Коломиец Н.Э. Лекарственные растения в коррекции климатических расстройств // Фундаментальная и клиническая медицина. 2019. Т. 4. № 1. С. 80–90.

References

- 1 Smolentsev S.Yu. Ecological foundations for ensuring the safety of raw materials and food products of animal origin. Current issues of improving the technology of production and processing of agricultural products. 2021. no. 23. pp. 538–539. (in Russian).
- 2 Galyautdinova G.G., Egorov V.I., Saifutdinov A.M. et al. Detection of tetracycline antibiotics in honey using high-performance liquid chromatography. International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences. 2020. vol. 11. no. 1. pp. 313–314.
- 3 Hairullin D.D., Zinnatov F.F., Shakirov Sh.K. et al. Section Original Articles Study of Scar Content in Cows When Using Carbohydrate-Vitamin-Mineral Concentrate «LS». International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences. 2020. vol. 11. no. 2. pp. 2241–2243.
- 4 Tarasova E.Yu., Matrosova L.E., Tanaseva S.A. et al. Protective effect of adsorbent complex on morphofunctional state of liver during chicken polymycotoxicosis. Systematic Reviews in Pharmacy. 2020. vol. 11. no. 11. pp. 264–268.
- 5 Yakupov T.R., Valiev M.M., Zinnatov F.F. et al. Features of humoral immunity in cows infected with the leukaemia virus. International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences. 2020. vol. 11. no. 1. pp. 290–293.
- 6 Minchenko L.A. Food additive "sodium benzoate": application in the food industry. Issues of sustainable development of society. 2021. no. 3. pp. 16–21. doi: 10.34755/IROK.2021.21.37.014 (in Russian).
- 7 Azuma S.L., Quartey N.K.-A., Ofosu I.W. Sodium benzoate in non-alcoholic carbonated (soft) drinks: Exposure and health risks. Scientific African. 2020. vol. 10. pp. e00611 doi: 10.1016/j.sciaf.2020.e00611
- 8 Samoilov A.V., Suraeva N.M., Zaitseva M.V., Petrov A.N. Assessment of the consequences of the toxic effects of food preservatives using biotesting. Russian agricultural science. 2021. no. 4. pp. 71–75. doi: 10.31857/S2500262721040153 (in Russian).
- 9 Dosay-Akbulut M. Determination of DNA Damage caused by food additives using comet assay method. Progr. Nutr. 2021. vol. 22. no. 4. pp. e2020071. Available at: <https://mattioli1885journals.com/index.php/progressinnutrition/article/view/9095>
- 10 Younes M., Aquilina G., Castle L. et al. Scientific Opinion on the follow-up of the re-evaluation of sorbic acid (E200) and potassium sorbate (E202) as food additives. EFSA Journal. 2019. vol. 17. no. 3:5625. Available at: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2019.5625>
- 11 Logvinenko L.A., Shevchuk O.M., Kravchenko E.N. Introduction study of some species of wormwood from the collection of aromatic and medicinal plants of the Nikitsky Botanical Garden. Agrarian Bulletin of the Urals. 2019. no. 4(183). pp. 59–63. doi: 10.32417/article_5cf9f5c5bfb246.48831055 (in Russian).
- 12 Ereemeva N.B., Makarova N.V. Study of the antioxidant properties of medicinal plants and their influence on microbial spoilage of semi-finished meat, poultry and fish. News of universities. Applied chemistry and biotechnology. 2021. vol. 11. no. 4(39). pp. 590–602. doi: 10.21285/2227-2925-2021-11-4-590-602 (in Russian).
- 13 Yashin A.Ya., Yashin Ya.I., Lipeeva A.V. Cranberry: chemical composition, biological activity and prospects for pharmaceutical use. Laboratory and production. 2022. no. 3–4(21). pp. 56–69. doi: 10.32757/2619-0923.2022.3-4.21.56.69 (in Russian).
- 14 Kari M., Baimatov V.N., Kozlov V.N. et al. Evaluation of the radioprotective properties of "Eracond-chitosan". News of the International Academy of Agrarian Education. 2018. no. 42–1. pp. 132–136. (in Russian).
- 15 Kozlov V.N., Ibragimov V.R., Maksyutov R.R., Ponomarev E.E. Method of canning eggs. Patent RF, no. 2634552, 2017.
- 16 Veiko A.G. Flavonoids: molecular properties and antioxidant potential. Laboratory diagnostics. Eastern Europe. 2021. vol. 10. no. 3. pp. 309–326. doi: 10.34883/PI.2021.10.3.015 (in Russian).
- 17 Abakarov G.M., Abakarova O.G., Dzhamalova S.A., Alimurzova Z.M. Preservatives in the food industry. Improving the quality and safety of food products: materials of the IX All-Russian scientific and practical conference (with international participation), Makhachkala, October 23–24, 2019 FSBEI HE "Dagestan State Technical University". Makhachkala, Information and Printing Center of DSTU, 2019. pp. 179–181. (in Russian).

- 18 Okovity S.V., Raikhelson K.L., Volnukhin A.V., Kudlay D.A. Hepatoprotective properties of glycyrrhizic acid. Experimental and clinical gastroenterology. 2020. no. 12 (184). pp. 96–108. doi: 10.31146/1682-8658.ecg.184-12-96-108 (in Russian).
- 19 Kryachko A.N., Khafizova R.R., Kozlov V.N. et al. Content of some flavonoids in alfalfa and its water extract "Eracond". IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. vol. 848. no. 1. pp. 012015. doi: 10.1088/1755-1315/848/1/012015
- 20 Shevelev A.B., Isakova E.P., Trubnikova E.V. et al. Study of the antimicrobial activity of polyphenols from wood raw materials. Bulletin of the Russian State Medical University. 2018. no. 4. pp. 53–56. doi: 10.24075/vrgmu.2018.043 (in Russian).
- 21 Gabitova D.M., Ryzhikova M.A. Features of the antioxidant effect of plant flavonoids. Bashkir Chemical Journal. 2020. vol. 27. no. 4. pp. 19–21. doi: 10.17122/bcj.2020-4-19-21 (in Russian).
- 22 Caro A.A., Davis A., Fobare S., Horan N., Ryan C., Schwab C. Antioxidant and pro-oxidant mechanisms of (+) – catechin in microsomal CYP2E1 dependent oxidative stress. Toxicology in Vitro. 2019. vol. 54. pp. 1–9. doi: 10.1016/j.tiv.2018.09.001
- 23 Maryin A.A., Tantsereva I.G., Bolshakov V.V., Kolomiets N.E. Medicinal plants in the correction of menopausal disorders. Fundamental and clinical medicine. 2019. vol. 4. no. 1. pp. 80–90. (in Russian).

Сведения об авторах

Алексей Н. Крячко аспирант, кафедра технологии пищевых производств, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет), ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, erakond@bk.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5673-9646>

Вклад авторов

Алексей Н. Крячко написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Aleksej N. Krjachko graduate student, food production technologies department, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (the First Cossack University, st. Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia, erakond@bk.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5673-9646>

Contribution

Aleksej N. Krjachko 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 17/04/2023	После редакции 11/05/2023	Принята в печать 29/05/2023
Received 17/04/2023	Accepted in revised 11/05/2023	Accepted 29/05/2023

Применение вычислительной гидродинамики для моделирования биореакторов с мешалкой в Ansys Fluent

Наталья А. Бондаренко ¹	natali_p999@mail.ru	 0009-0008-3382-503X
Елена В. Гусева ¹	guseva.e.v@muctr.ru	 0000-0002-6835-4513
Руслан Р. Сафаров ¹	safarov.r.r@muctr.ru	 0000-0002-0342-0049

¹ Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Миусская пл., 9, г. Москва, 125047, Россия

Аннотация. Биореакторы с мешалкой широко используются в фармацевтической промышленности в производстве различных лекарственных веществ для лечения онкологических заболеваний, болезней сердца и сосудов, вирусных и бактериальных инфекций. Несмотря на широкое использование биореакторов с мешалкой, оптимизация условий перемешивания остается актуальной задачей. В биореакторах такого типа должно осуществляться непрерывное перемешивание клеток в среде с высокой скоростью вращения. В работе рассматривается пример использования вычислительной гидродинамики для исследования и моделирования процесса культивирования бактериальных клеток *Escherichia coli* в биореакторе периодического действия (NLF, 30 л). Вычислительная гидродинамика использовалась для анализа гидродинамической обстановки в биореакторе с двойной турбинной мешалкой Раштона. Для описания движения потоков и оценки турбулентности в биореакторе периодического действия были использованы многофазная модель Эйлера и модель турбулентности $k-\varepsilon$ соответственно, встроенные в программный пакет Ansys Fluent. Была построена геометрическая модель с оригинальными размерами биореактора с мешалкой NLF 30. На основе геометрической модели была создана расчетная сетка по рабочему объему биореактора и проведен подбор оптимальных параметров построения расчетной сетки. В результате моделирования гидродинамического режима были получены профили распределения кинетической энергии турбулентности по объему биореактора и найдены скорости движения клеток при разных скоростях вращения мешалки. Полученные результаты показывают возможность и применимость программного пакета Ansys Fluent для расчета гидродинамической обстановки в биореакторе с мешалкой при разных скоростях перемешивания и при разных объемных долях клеток.

Ключевые слова: математическое моделирование, вычислительная гидродинамика, биореактор с мешалкой, модель Эйлера, модель турбулентности.

Application of computational fluid dynamics for simulation of stirred bioreactors in Ansys Fluent

Natalya A. Bondarenko ¹	natali_p999@mail.ru	 0009-0008-3382-503X
Elena V. Guseva ¹	guseva.e.v@muctr.ru	 0000-0002-6835-4513
Ruslan R. Safarov ¹	safarov.r.r@muctr.ru	 0000-0002-0342-0049

¹ D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Miusskaya sq., 9, Moscow, 125047, Russia

Summary. Stirred bioreactors are widely used in the pharmaceutical industry to produce various active substances for the treatment of cancer, heart and vascular diseases, viral and bacterial infections. Despite the widespread use of bioreactors with a stirrer, the optimization of mixing conditions remains an urgent task. In bioreactors of this type, continuous mixing of cells in a medium with a high rotation speed should be carried out. The manuscript considers an example of the use of computational fluid dynamics to study and model the process of cultivation *Escherichia coli* bacterial cells in a batch bioreactor (NLF, 30 l.). Computational fluid dynamics was used to analyze the hydrodynamic conditions in a bioreactor with a double Rushton turbine stirrer. To describe the movement of flows and evaluate turbulence in a batch bioreactor, the multiphase Euler model and the $k-\varepsilon$ turbulence model, respectively, were used, the built-in Ansys Fluent software package. A geometric model was built with the original dimensions of the bioreactor with an NLF 30 stirrer. Based on the geometric model, a computational grid was created for the working volume of the bioreactor and the optimal parameters for constructing the computational grid were selected. As a result of modeling the hydrodynamic regime, the distribution profiles of the turbulence kinetic energy over the volume of the bioreactor were obtained and the velocities of cell movement were found at different speeds of rotation of the stirrer. The obtained results show the possibility and applicability of the Ansys Fluent software package for calculating the hydrodynamic situation in a bioreactor with a stirrer at different stirring rates and at different cell volume fractions.

Keywords: mathematical modeling, computational fluid dynamics, stirred bioreactor, Euler model, turbulence model.

Введение

Каждый биопроцесс представляет собой сложную систему. Биореакторы с мешалкой являются неотъемлемой частью биотехнологического процесса и предоставляют широкий спектр применения для ряда различных отраслей. Биофармацевтические препараты, вакцины, биологические клеточные материалы, пищевые добавки получают путем культивирования

бактерий, грибов или животных клеток в биореакторах. Биореакторы (ферментеры) являются основой биотехнологического процесса культивирования клеток, основной задачей является обеспечение оптимальных условий, способствующих эффективному росту и производству целевых продуктов [1–3].

В биореакторах должны быть соблюдены необходимые массообменные и гидродинами-

Для цитирования

Бондаренко Н.А., Гусева Е.В., Сафаров Р.Р. Применение вычислительной гидродинамики для моделирования биореакторов с мешалкой в Ansys Fluent // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 2. С. 123–129. doi:10.20914/2310-1202-2023-2-123-129

For citation

Bondarenko N.A., Guseva E.V., Safarov R.R. Application of computational fluid dynamics for simulation of stirred bioreactors in Ansys Fluent. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 2. pp. 123–129. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-2-123-129

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

ческие условия культивирования, регулируются параметры: температура, pH, pO_2 , скорость перемешивания, пенообразование. Культивируемые клетки находятся в постоянном взаимодействии друг с другом и компонентами среды. Каждое изменение параметров культивирования активирует ответные реакции клеток [4 – 6]. Равномерное перемешивание гарантирует однородность распределения клеточной суспензии, концентрацию питательных веществ и кислорода (если процесс аэробный) в культуральной среде, что увеличивает производительность биореактора [7]. Оптимальным вариантом является подбор скорости перемешивания в соответствии с конкретными условиями процесса, при слишком низких скоростях вращения мешалки происходит снижение роста культуры [8].

Гидродинамические характеристики биореакторов периодического действия в значительной степени зависят от геометрических параметров (тип, размер и положение мешалки, их количество), условий эксплуатации (скорость вращения мешалки, состав среды) и типа клеток. В биореакторах периодического действия можно использовать различные типы мешалок для повышения однородности среды, сокращения времени перемешивания и потребления энергии, а также для контроля условий, вызывающих сдвиговые напряжения, которые при определенных значениях могут негативно влиять на рост и жизнедеятельность клеток [9–11]. Тип мешалки подбирается исходя из условий проведения процесса и вязкости перемешиваемой среды. Традиционно мешалка Раштона широко используется в аэрируемых биореакторах смешения из-за ее способности обеспечивать хорошее перемешивание в объеме питательной среды, диспергировать газ, а также высокой массопередачи газ-жидкость [9]. При невозможности обеспечить требуемый режим перемешивания одной мешалкой на одном валу применяют две и более мешалки одного или различных типов [12, 13]. При размещении на валу нескольких мешалок их конструкция и размеры должны быть одинаковыми, а расстояние между соседними мешалками не должно быть меньше их диаметра.

Применение математического моделирования позволяет исследовать объект и предоставить информацию, которую невозможно получить при помощи экспериментов. Одним из численных подходов, который был успешно использован при моделировании биореакторов, является вычислительная гидродинамика (CFD). Подход продемонстрировал свою хорошую способность прогнозировать движение жидкости в биореакторах с механическим перемешиванием [14, 15].

Вычислительная гидродинамика позволяет рассчитать потоки в биореакторах с простой и

сложной геометрией, а также оптимизировать условия процесса без необходимости проведения многочисленных и дорогостоящих экспериментов, сэкономив значительное количество времени и ресурсов [16]. Вычислительная гидродинамика используется в биофармацевтической промышленности в течение многих лет и зарекомендовала себя как важный инструмент для определения технологических характеристик [17].

На рынке программного обеспечения, с точки зрения точности, надежности и скорости проведения расчетов, лидирующую позицию занимает программный пакет Ansys Fluent, представляющий собой интегрированную платформу с широким выбором физических моделей для описания течения жидкостей и газов, процессов тепло- и массообмена, химических реакций в различных процессах и пр. [18].

Программный пакет Ansys Fluent обладает обширными возможностями визуализации результатов математического описания системы как в виде графиков и профилей, так и в виде числовых данных и таблиц.

Методы и этапы

Этапы исследования и моделирования биореактора периодического действия приведены на рисунке 1.

В первую очередь анализируются физико-химические свойства исследуемой культуры клеток, после чего проводится моделирование кинетических зависимостей роста клеток. На основе полученных данных составляется математическая модель, которая должна учитывать процессы гидродинамики биореактора [19].



Рисунок 1. Этапы исследования и моделирования биореактора периодического действия

Figure 1. Stages of research and modeling of a batch bioreactor

Целью данного исследования является демонстрация применения методов вычислительной

гидродинамики для анализа гидродинамической обстановки биореакторе периодического действия с двойной турбинной мешалкой Раштона.

Основные этапы моделирования в рамках вычислительной гидродинамики: построение геометрии модели (Geometry), создание на её основе расчётной сетки (Mesh), наложение на сетку свойств рабочего тела, граничных и начальных условий, параметров моделей (Setup), решение полученной модели (Solution) и анализ результатов (Results).

Каждому этапу соответствует свой раздел, в котором возможен ввод и редактирование свойств.

Геометрия биореактора и расчетная сетка

Экспериментальная установка представляет собой цилиндрический биореактор периодического действия рабочим объемом 20 литров фирмы Bioengineering AG (Швейцария), модель NLF 30. Биореактор использовался для культивирования бактериальных клеток *Escherichia coli*.

Геометрия биореактора с мешалкой, построенная в программном пакете Ansys Fluent 17.0, приведена на рисунке 2. Электронной геометрической моделью биореактора является его непосредственная виртуальная модель, которая описывает геометрические особенности и размеры реального биореактора.

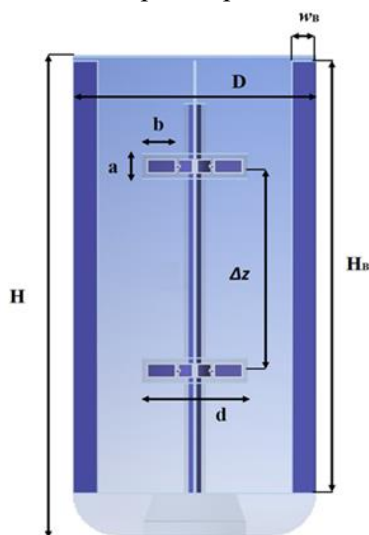


Рисунок 2. Геометрия биореактора с обозначением необходимых параметров

Figure 2. The geometry of the bioreactor with the designation of the required parameters

На основе разработанной геометрической модели была создана расчетная сетка для рассматриваемого моделируемого пространства. Вычислительная сетка создавалась по всей модели биореактора. Была выбрана тетраэдрическая

сетка, одна из наиболее популярных расчетных сеток в объемах. Поскольку биореактор периодического действия представляет собой аппарат со сложной структурой потоков, плотность расчетной сетки на поверхности мешалки и отбойников была увеличена путем задания большего количества ячеек в объеме. В свою очередь плотность сетки на поверхности аппарата была снижена, чтобы обеспечить приемлемое время сходимости расчёта.

Расчётная сетка биореактора приведена на рисунке 3.

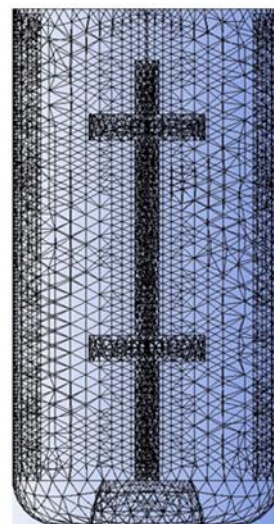


Рисунок 3. Расчётная сетка по рабочему объёму биореактора

Figure 3. Calculation grid for the working volume of the bioreactor

Размеры сосуда и мешалки приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Размеры биореактора и мешалки

Table 1.

Bioreactor and stirrer dimensions

Параметр Parameter	Значение Meaning
Рабочий объем (V), л Working volume (V), l	20
Диаметр аппарата (D), м Apparatus diameter (D), m	0,240
Высота аппарата (H), м Apparatus height (H), m	0,712
Диаметр мешалки (d), м Impeller diameter (d), m	0,090
Расстояние между двумя мешалками (Δz), м Distance between two impeller (Δz), m	0,250
Длина и ширина лопасти мешалки (a • b), м Length and width of the agitator impeller (a • b), m	0,027 • 0,015
Высота отбойника (Hb • wb), м Fender baffle (Hb • wb), m	0,450 • 0,025

В результате поиска оптимальных параметров построения расчетной сетки было выбрано общее

число ячеек: 141905 элементов. При увеличении количества элементов расчетной сетки время моделирования начинает значительно увеличиваться.

Перемешивание осуществлялось мешалкой с двумя крыльчатками (турбина Раштона) с четырьмя лопастями каждая.

Турбина Раштона используется для эффективного перемешивания в биореакторе и представляет собой дисковую турбину, которая используется во многих процессах культивирования.

На следующем шаге определяются основные параметры и характеристики модели, начальные и граничные условия процесса (входные, выходные параметры), выбираются основные уравнения для решения поставленной задачи.

Результаты

Моделирование гидродинамической обстановки в реакторе периодического действия проводилось в программном комплексе Ansys Fluent 17.0 в структурной схеме модуля Fluid Flow (Fluent) для вычислительной гидродинамики.

Для моделирования гидродинамического режима биореактора задавались следующие допущения:

1. Все столкновения клеток со стенками аппарата, отбойниками и мешалкой являются абсолютно упругими, потери энергии отсутствуют;
2. Перемешивание внутри биореактора происходит интенсивно, распределение клеток по всему объему биореактора равномерное;
3. Плотности и вязкости культуральной среды и клеток отличаются друг от друга, но незначительно, и на протяжении процесса культивирования постоянны.

В исследуемой системе при моделировании биореактора применялась многофазная модель

Эйлера. Это одна из моделей, которая поддерживает моделирование среды «дисперсная фаза-жидкость», в которой одновременно осуществляется решение уравнений сохранения массы и импульса для жидкой (культуральной среды) и дисперсной фазы (клетки бактерий).

Для моделирования турбулентных течений в пакете Ansys Fluent реализован большой набор моделей турбулентности. Для описания процесса турбулентности используется модель k-ε, она подходит для описания турбулентности в биореакторе с мешалкой. В Ansys Fluent для моделей заложен стандартный рекомендуемый набор эмпирических констант.

Таким образом, были выбраны необходимые уравнения для моделирования структуры потоков в биореакторе периодического действия, а именно уравнения многофазной модели Эйлера и модель турбулентности k-ε.

Обсуждение

Одним из параметров, который используется для измерения интенсивности турбулентности и оценки эффективности работы мешалки в биореакторах, является кинетическая энергия турбулентности.

Она представляет собой один из важнейших параметров, характеризующий уровень турбулентного режима в аппарате. В результате моделирования гидродинамического режима внутри биореактора для разных скоростей мешалки были получены профили распределения кинетической энергии турбулентности (рисунки 4, 5).

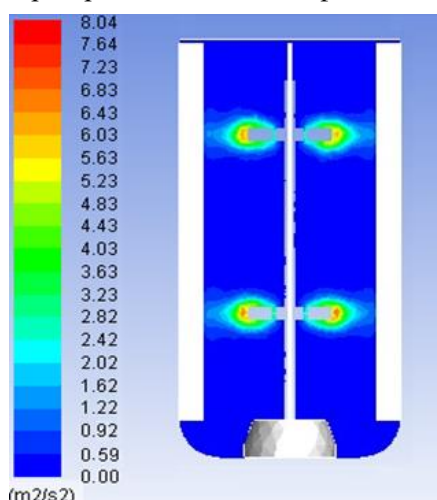


Рисунок 4. Профили распределения кинетической энергии турбулентности в биореакторе при скорости вращения мешалки 250 об/мин

Figure 4. Distribution profiles of the kinetic energy of turbulence in the bioreactor at a stirrer speed of 250 rpm

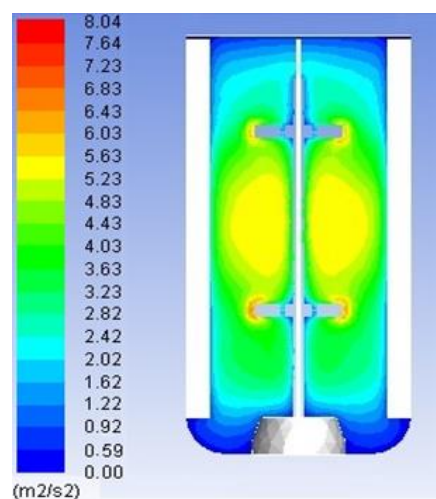


Рисунок 5. Профили распределения кинетической энергии турбулентности в биореакторе при скорости вращения мешалки 750 об/мин

Figure 5. Distribution profiles of the kinetic energy of turbulence in the bioreactor at a stirrer speed of 750 rpm

Процесс культивирования начинался с начальной скорости перемешивания 250 об/мин и был остановлен при скорости вращения 750 об/мин. Из полученных данных видно, что с увеличением скорости вращения мешалки происходит существенное изменение картины потоков в биореакторе.

Максимальная кинетическая энергия турбулентности наблюдается вблизи лопастей мешалки, а в объеме биореактора значения кинетической энергии турбулентности ниже [20]. Как правило, на характеристики турбулентности влияют несколько факторов, включая скорость перемешивания, свойства жидкости и конфигурация крыльчатки мешалки.

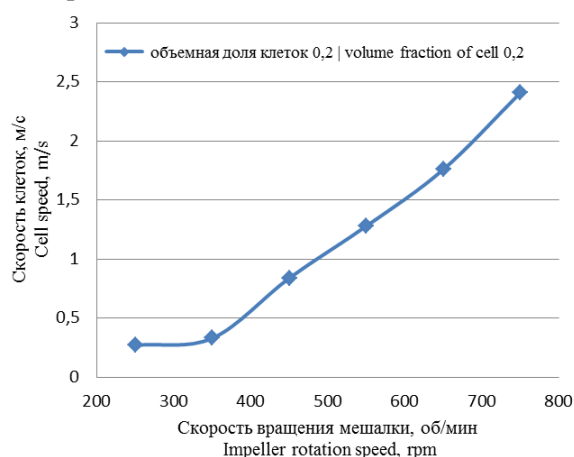


Рисунок 6. Cell movement speeds at different stirrer rotation speeds, (m/s)

Figure 6. Cell movement speeds at different stirrer rotation speeds, (m/s)

Было проведено исследование влияния количества клеток в биореакторе за счет увеличения начальной объемной доли клеток с 0,2 до 0,4. На рисунке 7 приведена зависимость линейной скорости движения клеток при разных объемных долях клеток от скорости вращения мешалки.

Можно сделать вывод, что, начиная с нижнего предела значения скорости вращения мешалки и выше, наблюдается интенсивное перемешивание биомассы по всему объему аппарата с объемной долей клеток $\alpha = 0,2$ и $0,4$.

Рабочий объем биореактора достаточно большой и даже при увеличении объемной доли клеток (т. е. увеличение посевной концентрации приводит к увеличению числа клеток в конце ферментации) линейные скорости клеток меняются незначительно как видно из рисунка 7. Поскольку плотность и вязкость среды и клеток близки, то увеличение объемной доли клеток до $\alpha = 0,4$ незначительно меняет вязкость системы.

В данном случае возможно проведение процесса в биореакторе данного объема с большей посевной концентрацией клеток (до $\alpha = 0,4$), что будет способствовать увеличению выхода продукта в конце культивирования.

Шкала в левой части цветограммы показывает соответствие цветов значениям изменяющейся величины.

При исследовании гидродинамической обстановки в биореакторе были получены скорости движения клеток в объеме биореактора. На основании полученных результатов построена зависимость линейной скорости движения клеток, наблюдаемая около границ мешалки, от скорости вращения мешалки (рисунок 6).

Объемная доля клеток в реакторе составляла $\alpha = 0,2$.

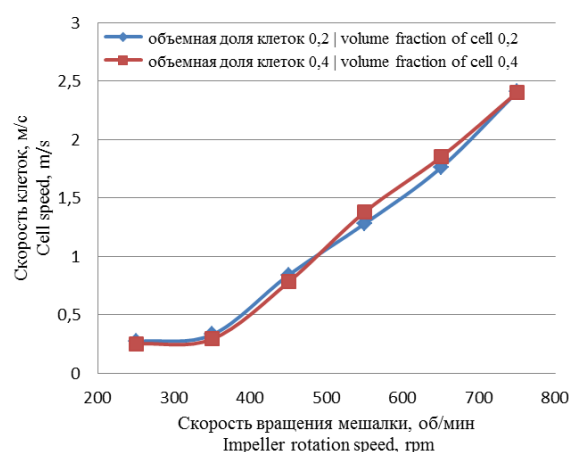


Рисунок 7. Сравнение скоростей клеток при разных объемных долях и при разных скоростях вращения мешалки

Figure 7. Comparison of cell velocities at different volume fractions and at different stirrer speeds

Заключение

В этом исследовании приведен наглядный пример использования вычислительной гидродинамики CFD для расчета гидродинамической обстановки в биореакторе с мешалкой, работающего в турбулентном режиме. При моделировании CFD использовалась двойная турбинная мешалка Раштона и разные скорости вращения мешалки. Для описания движения потоков и оценки турбулентности в биореакторе периодического действия были использованы многофазная модель Эйлера и модель турбулентности k-ε соответственно, встроенные программный пакет Ansys Fluent. Были определены профили кинетической энергии турбулентности и скорости движения клеток, создаваемые мешалкой из-за турбулентности и градиента скорости. Было проведено исследование кинетики роста клеток за счет увеличения объемной доли клеток в биореакторе. Конфигурация крыльчатки и скорость вращения мешалки обеспечивали равномерное перемешивание биомассы по всему объему биореактора даже с большей объемной долей клеток.

Было показано, что CFD-моделирование можно использовать в качестве удобного инструмента для получения подробной информации

о биореакторах с мешалкой, что в дальнейшем может способствовать поиску оптимальных условий и масштабированию процесса.

Литература

- 1 Li G., Li H., Wei G., He X. et al. Hydrodynamics, mass transfer and cell growth characteristics in a novel microbubble stirred bioreactor employing sintered porous metal plate impeller as gas sparger // *Chemical Engineering Science*. 2018. V. 192. P. 665–677.
- 2 Schirmer C., Maschke R.W., Pörtner R., Eibl D. An overview of drive systems and sealing types in stirred bioreactors used in biotechnological processes // *Appl Microbiol Biotechnol*. 2021. V. 105. P. 2225–2242.
- 3 Sharma R., Harrison S.T.L., Tai S.L. Advances in bioreactor systems for the production of biologicals in mammalian cells // *ChemBioEng Reviews*. 2022. V. 9. № 1. P. 42–62.
- 4 Karthikeyan A., Joseph A., Subramanian R., Nair B.G. Fermenter Design // *Industrial Microbiology and Biotechnology*. 2022. P. 129–167.
- 5 Wang B., Wang Z., Chen T., Zhao X. Development of novel bioreactor control systems based on smart sensors and actuators // *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2020. V. 8. P. 7.
- 6 Иванов В.А., Пашкова Е.А., Пестриков С.В. Совершенствование управления фармацевтическим биореактором // *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК—продукты здорового питания*. 2022. № 1. С. 137–142.
- 7 Gaugler L., Mast Y., Fitschen J., Hofmann S. et al. Scaling down biopharmaceutical production processes via a single multi compartment bioreactor (SMCB) // *Engineering in life sciences*. 2022. V. 23. № 1. P. 2100161.
- 8 Минаков Д.В. Мороженко Ю.В., Обрезкова М.В., Шавыркина Н.А., Егорова Е.Ю. Исследование глубинного культивирования грибов рода масленок (*Suillus*) с целью получения белковых пищевых добавок // *Ползуновский вестник*. 2020. № 1. С. 32–36.
- 9 Lone S.R., Kumar V., Seay J.R., Englert D.L. et al. Mass Transfer and Rheological Characteristics in a Stirred Tank Bioreactor for Cultivation of *Escherichia coli* BL21 // *Biotechnology and Bioprocess Engineering*. 2020. V. 25. P. 766–776.
- 10 Ebrahimi M., Tamer M., Villegas R.M., Chiappetta A. et al. Application of CFD to Analyze the Hydrodynamic Behaviour of a Bioreactor with a Double Impeller // *Processes*. 2019. V.7. P. 694.
- 11 Villiger T.K., Neunstoecklin B., Karst D.J., Lucas E. et al. Experimental and CFD physical characterization of animal cell bioreactors: From micro – to production scale // *Biochemical Engineering Journal*. 2018. V. 131. P. 84–94.
- 12 Ebrahimi M., Tamer M., Villegas R.M., Chiappetta A. et al. Application of CFD to analyze the hydrodynamic behaviour of a bioreactor with a double impeller // *Processes*. 2019. V.7. № 10. P. 694.
- 13 Verma R., Mehan L., Kumar R., Kumar A. et al. Computational fluid dynamic analysis of hydrodynamic shear stress generated by different impeller combinations in stirred bioreactor // *Biochemical Engineering Journal*. 2019. V. 151. P. 107312.
- 14 Haringa C., Mudde R.F., Noorman H.J. From industrial fermentor to CFD-guided downscaling: what have we learned? // *Biochemical Engineering Journal*. 2018. V. 140. P. 57–71.
- 15 Vivek V., Eka F.N., Chew W. Mixing studies in an unbaffled bioreactor using a computational model corroborated with in-situ Raman and imaging analyses // *Chemical Engineering Journal Advances*. 2022. V. 9. P. 100232.
- 16 Ключников А.И., Овсянников В.Ю., Ключникова Д.В., Давыдов А.М. Перспективы методов вычислительной гидродинамики при исследовании мембранных процессов // *Вестник ВГУИТ*. 2022. Т. 84. № 4. С. 32–38.
- 17 Seidel S., Schirmer C., Maschke R.W., Rossi L. et al. Computational fluid dynamics for advanced characterisation of bioreactors used in the biopharmaceutical industry: part I: literature review // *Computational Fluid Dynamics – Recent Advances, New Perspectives and Applications*. 2023.
- 18 Shafa M., Panchalingam K.M., Walsh T., Richardson T. et al. Computational fluid dynamics modeling, a novel, and effective approach for developing scalable cell therapy manufacturing processes // *Biotechnology and Bioengineering*. 2019. V. 116. № 12. P. 3228–3241.
- 19 Menshutina N.V., Guseva E.V., Safarov R.R. Boudrant J. Modelling of hollow fiber membrane bioreactor for mammalian cell cultivation using computational hydrodynamics // *Bioprocess and Biosystems Engineering*. 2020. V. 43. P. 549–567.
- 20 Guler B.A., Deniz I., Demirel Z., Oncel S.S. et al. Computational fluid dynamics modelling of stirred tank photobioreactor for *Haematococcus pluvialis* production: Hydrodynamics and mixing conditions // *Algal Research*. 2020. V. 47. P. 101854.

References

- 1 Li G., Li H., Wei G., He X. et al. Hydrodynamics, mass transfer and cell growth characteristics in a novel microbubble stirred bioreactor employing sintered porous metal plate impeller as gas sparger. *Chemical Engineering Science*. 2018. no. 192. pp. 665–677.
- 2 Schirmer C., Maschke R.W., Pörtner R., Eibl D. An overview of drive systems and sealing types in stirred bioreactors used in biotechnological processes. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2021. no. 105. pp. 2225–2242.
- 3 Sharma R., Harrison S.T.L., Tai S.L. Advances in bioreactor systems for the production of biologicals in mammalian cells. *ChemBioEng Reviews*. 2022. no. 9 (1). pp. 42–62.
- 4 Karthikeyan A., Joseph A., Subramanian R., Nair B.G. Fermenter Design. *Industrial Microbiology and Biotechnology*. 2022. pp. 129–167.
- 5 Wang B., Wang Z., Chen T., Zhao X. Development of novel bioreactor control systems based on smart sensors and actuators. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2020. no. 8. pp. 7.
- 6 Ivanov V.A., Pashkova E.A., Pestrikov S.V. Improving the management of a pharmaceutical bioreactor // *Technologies of the food and processing industry of the APK – healthy food products*. 2022. no. 1. pp. 137–142. (in Russian).
- 7 Gaugler L., Mast Y., Fitschen J., Hofmann S. et al. Scaling down biopharmaceutical production processes via a single multi compartment bioreactor (SMCB). *Engineering in life sciences*. 2022. no. 23(1). pp. 2100161.

- 8 Minakow D.V., Moroschenko U.V., Obrezkova M.V., Schawyrkin N.A. et al. Study of submerged cultivation of fungi of the genus oiler (Suillus) in order to obtain protein food supplements. Polzunovskiy Proceedings. 2020. no. 1. pp. 32–36. (in Russian).
- 9 Lone S.R., Kumar V., Seay J.R., Englert D.L. et al. Mass Transfer and Rheological Characteristics in a Stirred Tank Bioreactor for Cultivation of Escherichia coli BL21. Biotechnology and Bioprocess Engineering. 2020. no. 25. pp. 766–776.
- 10 Ebrahimi M., Tamer M., Villegas R.M., Chiappetta A. et al. Application of CFD to Analyze the Hydrodynamic Behaviour of a Bioreactor with a Double Impeller. Processes. 2019. no. 7. pp. 694.
- 11 Villiger T.K., Neunstoecklin B., Karst D.J., Lucas E. et al. Experimental and CFD physical characterization of animal cell bioreactors: From micro – to production scale. Biochemical Engineering Journal. 2018. no. 131. pp. 84–94.
- 12 Ebrahimi M., Tamer M., Villegas R.M., Chiappetta A. et al. Application of CFD to analyze the hydrodynamic behaviour of a bioreactor with a double impeller. Processes. 2019. no. 7 (10). pp. 694.
- 13 Verma R., Mehan L., Kumar R., Kumar A. et al. Computational fluid dynamic analysis of hydrodynamic shear stress generated by different impeller combinations in stirred bioreactor. Biochemical Engineering Journal. 2019. no. 151. pp. 107312.
- 14 Haringa C., Mudde R.F., Noorman H.J. From industrial fermentor to CFD-guided downscaling: what have we learned? Biochemical Engineering Journal. 2018. no. 140. pp. 57–71.
- 15 Vivek V., Eka F.N., Chew W. Mixing studies in an unbaffled bioreactor using a computational model corroborated with in-situ Raman and imaging analyses. Chemical Engineering Journal Advances. 2022. vol. 9. pp. 100232.
- 16 Klyuchnikov A.I., Ovsyannikov V.U., Klyuchnikova D.V., Davydov A.M. Prospects for computational fluid dynamics methods in the study of membrane processes. Proceedings of VSUET. 2022. no. 84 (4). pp. 32–38. (in Russian).
- 17 Seidel S., Schirmer C., Maschke R.W., Rossi L. et al. Computational fluid dynamics for advanced characterisation of bioreactors used in the biopharmaceutical industry: part I: literature review. Computational Fluid Dynamics – Recent Advances, New Perspectives and Applications. 2023.
- 18 Shafa M., Panchalingam K.M., Walsh T., Richardson T. et al. Computational fluid dynamics modeling, a novel, and effective approach for developing scalable cell therapy manufacturing processes. Biotechnology and Bioengineering. 2019. vol. 116. no. 12. pp. 3228–3241.
- 19 Menshutina N.V., Guseva E.V., Safarov R.R. Boudrant J. Modelling of hollow fiber membrane bioreactor for mammalian cell cultivation using computational hydrodynamics. Bioprocess and Biosystems Engineering. 2020. no. 43. pp. 549–567.
- 20 Guler B.A., Deniz I., Demirel Z., Oncel S.S. et al. Computational fluid dynamics modelling of stirred tank photobioreactor for Haematococcus pluvialis production: Hydrodynamics and mixing conditions. Algal Research. 2020. no. 47. pp. 101854.

Сведения об авторах

Наталья А. Бондаренко аспирант, кафедра химического и фармацевтического инжиниринга, Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Миусская пл., 9, г. Москва, 125047, Россия, natali_p999@mail.ru
 <https://orcid.org/0009-0008-3382-503X>

Елена В. Гусева к.т.н., доцент, кафедра химического и фармацевтического инжиниринга, Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Миусская пл., 9, г. Москва, 125047, Россия, guseva.e.v@muctr.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-6835-4513>

Руслан Р. Сафаров к.т.н., директор департамента научно-технической политики, Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Миусская пл., 9, г. Москва, 125047, Россия, safarov.r.r@muctr.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-0342-0049>

Вклад авторов

Наталья А. Бондаренко написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат
Елена В. Гусева написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат
Руслан Р. Сафаров консультация в ходе исследования

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Natalya A. Bondarenko graduate student, chemical and pharmaceutical engineering department, D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Miusskaya sq., 9, Moscow, 125047, Russia, natali_p999@mail.ru
 <https://orcid.org/0009-0008-3382-503X>

Elena V. Guseva Cand. Sci. (Engin.), associate professor, chemical and pharmaceutical engineering department, D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Miusskaya sq., 9, Moscow, 125047, Russia, guseva.e.v@muctr.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-6835-4513>

Ruslan R. Safarov Cand. Sci. (Engin.), director of the department of scientific and technical policy, D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Miusskaya sq., 9, Moscow, 125047, Russia, safarov.r.r@muctr.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-0342-0049>

Contribution

Natalya A. Bondarenko wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism
Elena V. Guseva wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism
Ruslan R. Safarov consultation during the study

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 25/04/2023	После редакции 15/05/2023	Принята в печать 02/06/2023
Received 25/04/2023	Accepted in revised 15/05/2023	Accepted 02/06/2023

Питательная основа для культивирования штамма *Bifidobacterium Infantis* 2008

Ирина В. Бояринева ¹	boyarinevaiv@yandex.ru	 0000-0003-4791-884X
Ирина С. Хамагаева ²	ikhamagaeva@mail.ru	 0000-0003-4294-5857
Наталья А. Замбалова ²	zambalova2015@mail.ru	 0000-0571-9097-5109

¹ Дальневосточный федеральный университет, п. Аякс, 10, о. Русский, г. Владивосток, 690922, Россия

² Восточно-Сибирский государственный технологический университет технологий и управления, ул. Ключевская, 40 в, г. Улан-Удэ, 670013, Россия

Аннотация. Бифидобактерии, как представители микробиоценоза кишечника, играют важную роль в механизме резистентности макроорганизма к различным заболеваниям, являются продуцентами биологически активных веществ, обладающих иммунокорректирующим действием. Разработка технологий поликомпонентных бифидумпрепаратов, содержащих физиологически активные клетки бифидобактерий с высоким коэффициентом адгезии к слизистой кишечника и продуцируемые ими биологически активные вещества – ферменты, полисахариды, гликопротеины, органические кислоты и др., направлена на расширение ассортимента лечебно-профилактических средств. Многочисленные исследовательские работы подтверждают положительный эффект от комбинирования животных и растительных компонентов в продуктах питания и их обогащение пробиотическими культурами. Соевое молоко характеризуется полным отсутствием лактозы и является незаменимым продуктом детского питания в случае возникновения аллергических реакций, связанных с непереносимостью молочного сахара, вызванные отсутствием или снижением активности лактазы в слизистой кишечника. Лактазная недостаточность сопровождается возникновением аллергических реакций, связанных с непереносимостью молочного сахара, также дисбактериозом, препятствующим формированию нормального биоценоза в кишечнике, и тем самым требуют адекватной профилактики и коррекции препаратами пробиотической направленности. В настоящей работе изучено влияние соевой сыворотки на рост штамма *Bifidobacterium infantis* 20088. Подобрана доза глюкозы, обеспечивающая максимальную скорость роста клеток бифидобактерий. Наибольшее количество жизнеспособных клеток бифидобактерий наблюдается при внесении 1% глюкозы. В ходе проведенных исследований определен состав питательной среды для производства бактериального концентрата на основе соевой сыворотки. Данный набор жизненно необходимых микроэлементов и витаминов в среде активизирует рост штаммов *Bifidobacterium infantis* 20088, количество жизнеспособных клеток составляет 10^{12} к.о.е./см³.

Ключевые слова: питательная основа, соевая сыворотка, бифидобактерии, биомасса, бактериальный концентрат.

Nutritional basis for cultivation of *Bifidobacterium Infantis* 2008

Irina V. Boyarineva ¹	boyarinevaiv@yandex.ru	 0000-0003-4791-884X
Irina S. Khamagaeva ²	ikhamagaeva@mail.ru	 0000-0003-4294-5857
Natalia A. Zambalova ²	zambalova2015@mail.ru	 0000-0571-9097-5109

¹ Far Eastern Federal University, Ajax, 10, Russian Island, Vladivostok, 690922, Russia

² East Siberian State Technological University of Technology and Management, Klyuchevskaya str., 40 v, Ulan-Ude, 670013, Russia

Abstract. Bifidobacteria, as representatives of the intestinal microbiocenosis, play an important role in the mechanism of resistance of the macroorganism to various diseases, are producers of biologically active substances with an immunocorrelating effect. The development of technologies for multicomponent bifidum preparations containing physiologically active bifidobacteria cells with a high coefficient of adhesion to the intestinal mucosa and biologically active substances produced by them – enzymes, polysaccharides, glycoproteins, organic acids, etc., is aimed at expanding the range of therapeutic and prophylactic agents. Numerous research works confirm the positive effect of combining animal and plant components in food and their enrichment with probiotic cultures. Soy milk is characterized by a complete absence of lactose and is an indispensable baby food product in case of allergic reactions associated with milk sugar intolerance caused by the absence or decrease in lactase activity in the intestinal mucosa. Lactase deficiency is accompanied by the occurrence of allergic reactions associated with milk sugar intolerance, as well as dysbiosis, which prevents the formation of a normal biocenosis in the intestine, and thus require adequate prevention and correction with probiotic drugs. In this paper, the effect of soy whey on the growth of the strain *Bifidobacterium infantis* 20088 was studied. A dose of glucose has been selected to ensure the maximum growth rate of bifidobacteria cells. The largest number of viable bifidobacteria cells is observed when 1% glucose is added. In the course of the conducted studies, the composition of the nutrient medium for the production of bacterial concentrate based on soy whey was determined. This set of vital trace elements and vitamins in the medium activates the growth of strains of *Bifidobacterium infantis* 20088, the number of viable cells is 10^{12} к.о.е./см³.

Keywords: nutritional basis, soy whey, bifidobacteria, biomass, bacterial concentrate.

Для цитирования

Бояринева И.В., Хамагаева И.С., Замбалова Н.А. Питательная основа для культивирования штамма *Bifidobacterium Infantis* 2008 // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 2. С. 130–135. doi:10.20914/2310-1202-2023-2-130-135

For citation

Boyarineva I.V., Khamagaeva I.S., Zambalova N.A. Nutritional basis for cultivation of *Bifidobacterium Infantis* 2008. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 2. pp. 130–135. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-2-130-135

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

Введение

Нормальная микробиота человека оказывает влияние практически на все жизненно важные процессы и функции организма. Поддержание функциональной активности микрофлоры, постоянства кишечного гомеостаза является прерогативой нормального физиологического состояния организма [1]. Большое количество исследований, опубликованных в последние годы, демонстрирует положительную роль пробиотиков в комплексной терапии многих заболеваний ЖКТ, а также заболеваний, не связанных напрямую с органами пищеварения [2].

Пробиотическим штаммам лактобацилл и бифидобактерий отводится существенная роль в нормализации функционирования всей иммунной системы [3]. Нормализация микробиоты с использованием бифидобактерий снижает риск возникновения разнообразных нарушений нервно-психической деятельности и стресса. Так, назначение *B. infantis* безмикробным мышам в раннем возрасте ослабляло до нормального уровня их реакцию на стресс [4]. Вид *B. infantis* является психобиотиком, который облегчает болевые ощущения у больных синдромом раздраженного кишечника, у которых нормализовались сывороточные концентрации провоспалительных цитокинов [5]. Психобиотическая комбинация штаммов *L. helveticus* и *B. longum* смягчала симптомы депрессии в периоде после инфаркта миокарда [6].

У каждого человека в кишечнике находятся свои индивидуальные штаммы (аутоштаммы) лакто-, бифидобактерий, кишечной палочки и т. д. Пробиотики изготавливают на основе «универсальных» производственных штаммов микробов. Дошедшие живыми до толстой кишки пробиотические клетки, более чем в 70% случаев вступают в антагонистические взаимоотношения с аутоштаммами микроорганизмов пациента, проще говоря, обладают бионесовместимостью [7, 8]. Пробиотические клетки к тому же чувствительны к большинству антибиотиков даже в тех небольших концентрациях, которые создаются антибиотиками в крови, а в кишечнике концентрации антибиотиков создаются в десятки-сотни раз выше. В последние десять лет появились доказательства, что пробиотические бактерии участвуют в горизонтальном переносе генов антибиотикорезистентности [9]. Имеются данные, подтверждающие аэротолерантность многих штаммов *Bifidobacterium*, обладающих способностью образовывать колонии на поверхности желудочно-кишечного тракта в аэробных условиях, что открывает новые стратегии отбора и включения кишечных штаммов пробиотиков в функциональные пищевые продукты [10].

Пробиотики характеризуются антиаллергическим, антидиабетическим и противовоспалительным действием. Введение в организм пробиотических бифидо- и лактобактерий приводит к облегчению синдрома раздраженной толстой кишки [11].

В настоящее время наиболее остро затрагивается проблема аллергических реакций. Известно, что воздействия внешней среды вызывают изменения в организме, способствующие развитию аллергии. Считают, что в основе развития аллергии в первую очередь лежит нарушение специфической и неспецифической иммунобиологической реактивности организма.

Среди наиболее значимых неспецифических неинфекционных аллергенов особо выделяют белки коровьего молока. Аллергия на коровье молоко является заболеванием, при котором иммунная система реагирует на один или несколько молочных белков, вызывая воспалительную реакцию. Коровье молоко является наиболее распространенным аллергеном у детей, но у 80–90% пациентов наблюдается устойчивость уже к пяти годам. Действительная распространенность аллергии на коровье молоко составляет 2–6% у детей и 0,1–0,5% у взрослых [12].

В настоящее время для взрослых и детей с недостаточной активностью лактозы или её полного отсутствия в организме всё более востребованными на рынке специализированных продуктов питания становятся низколактозные и безлактозные молочные биопродукты.

Для производства таких продуктов используются различные технологии, наиболее распространённая из которых – ферментативное расщепление лактозы. Ферментативный гидролиз лактозы применяется при производстве широкого ассортимента безлактозных и низколактозных молочных продуктов: молока, йогуртов, сыров, мороженого [13]. В некоторых случаях детей с аллергией на коровье молоко следует кормить гипоаллергенными смесями на основе интенсивно гидролизованной сыворотки или казеина или же немолочными заменителями молока на растительной основе [14].

Наиболее используемые растительным заменителем молока является соевое молоко. При сравнении растительных заменителей молока становится очевидно, что только соевое молоко сопоставимо с коровьим по содержанию белка (от 2,9 до 3,7%).

По количеству липидов соевое молоко сопоставимо с полужирным коровьим. Основная их часть – ненасыщенные жирные кислоты, необходимые для здоровья человека. По содер-

жанию витамина РР, железа и калия соевое молоко превосходит молоко животного происхождения. За счет наличия таких веществ как лецитин и изофлавоны, которые несут немало пользы для здоровья человека, употребление этого напитка благоприятным образом сказывается на общем состоянии человека.

Углеводы в сое представлены растворимыми сахарами – глюкозой, фруктозой, сахарозой, гидролизуемыми полисахаридами – крахмалом и нерастворимыми структурными полисахаридами – гемицеллюлозой, пектиновыми веществами. Особый интерес представляют олигосахариды – рафиноза и стахиоза, так как являются необходимым субстратом для полноценного функционирования микрофлоры кишечника [15].

Ферментирование соевых продуктов является актуальным направлением развития пищевой промышленности. Спектр бактерий, которые могут быть использованы в качестве пробиотиков для производства ферментированного соевого напитка разнообразен [16–18]. Так, например, ферментация бактериальным штаммом *Lactobacillus casei* Shirota улучшает вкус и функциональность соевого напитка. Укрепляющие здоровье эффекты, приписываемые определенным штаммам бифидобактерий, включают усиление иммунной функции, улучшение целостности толстой кишки, снижение частоты и продолжительности кишечных инфекций, подавление аллергических реакций и стимуляцию пищеварения и элиминации. Эти положительные свойства привели к их включению в состав функциональных продуктов питания [19, 20].

Цель работы – изучение возможности применения соевой сыворотки при приготовлении питательной среды для получения гипоаллергенного бактериального концентрата бифидобактерий.

Материалы и методы

Экспериментальные исследования проводились на кафедре «Технология молочных продуктов. Товароведение и экспертиза товаров», проблемной научно-исследовательской лаборатории Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления.

В работе использовали штаммы бифидобактерий *Bifidobacterium infantis* 20088. Применены реактивы химически чистые для получения питательной основы на основе соевой сыворотки. Для получения соевой сыворотки 90 г. соевой муки растворяли в 1 л воды, смесь кипятили в течение 10 мин. После охлаждения в соевое молоко вносили хлористый магний и отделяли сыворотку от образовавшегося сгустка. На основе полученной сыворотки готовили три образца

питательной среды при соотношении сыворотки и воды: 100:0; 70:30 и 50:50.

Для определения кинетических параметров анализировали кривые роста бактерии в координатах $A_{490} - \tau$, где A_{490} – определение параметров культуральной жидкости при длине волны 490 нм; τ – продолжительность культивирования. Удельную скорость роста μ находили как тангенс угла наклона прямой в координатах $\ln A_{490} - \tau$. Измерения оптической плотности проводили на спектрофотометре КФ-77 при длине волны 490 нм.

Количество клеток бифидобактерий находили методом предельных разведений на среде ГМК по ТУ 10–02–02–789–192–95.

Результаты и обсуждение

В качестве контроля использовали бактериальный концентрат бифидокультур на основе творожной сыворотки.

Оценку роста бифидокультур на соевой основе наблюдали по средним значениям удельной скорости роста клеток $\mu_{\text{ср.}}$ на отрезке фаз экспоненциального роста бактерий. Температура культивирования бифидобактерий составила 37 °С (рисунок 1).

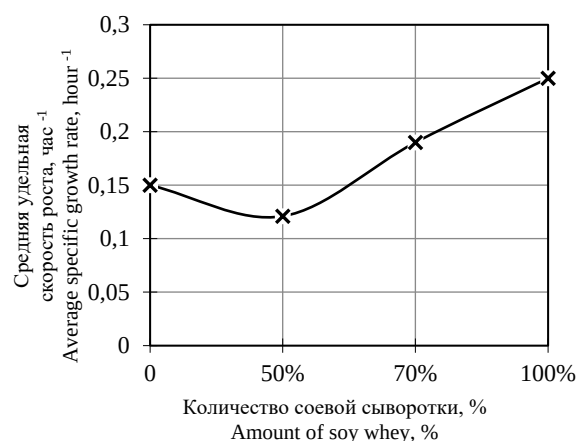


Рисунок 1. Скорость роста бифидокультур на различных соевых средах

Figure 1. The growth rate of bifidocultures on various soy media

Результаты, представленные на рисунке 1 показывают, что увеличение концентрации соевой сыворотки в среде приводит к повышению удельной скорости роста бифидокультур. Максимальная скорость роста бифидокультур отмечена в соевой питательной среде без разбавления водой.

В ходе эксперимента наблюдали рост клеточных культур бифидобактерий на различных питательных соевых основах (рисунок 2).

Из данных, представленных на рисунке 2, видно, что максимальный рост клеток бифидокультур 2×10^{11} к.о.е./см³ отмечен в соевой среде без добавления воды. В соевых питательных средах с концентрацией сыворотки 70 и 50%

количество жизнеспособных клеток соответствует титру бифидоклеток в контроле.

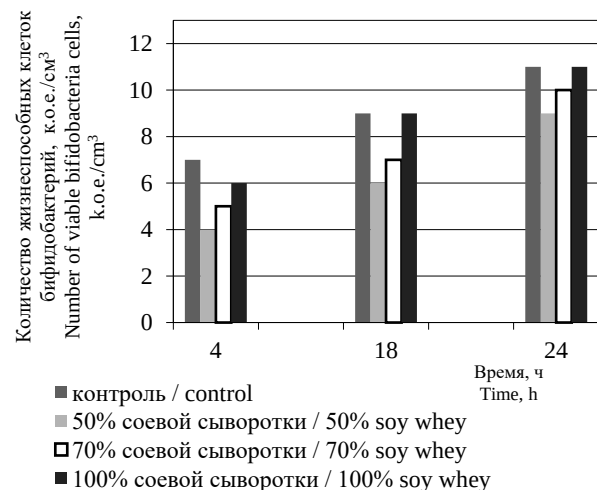


Рисунок 2. Количество клеток бифидокультур на соевых основах

Figure 2. The number of cells of bifidocultures on soy bases

Из представленных данных можно сделать вывод о том, что максимальная скорость роста и титр клеток бифидокультур отмечены на соевой среде без добавления воды.

На следующем этапе проводили подбор оптимальной дозы глюкозы, обеспечивающей рост клеток бифидобактерий (рисунок 3).

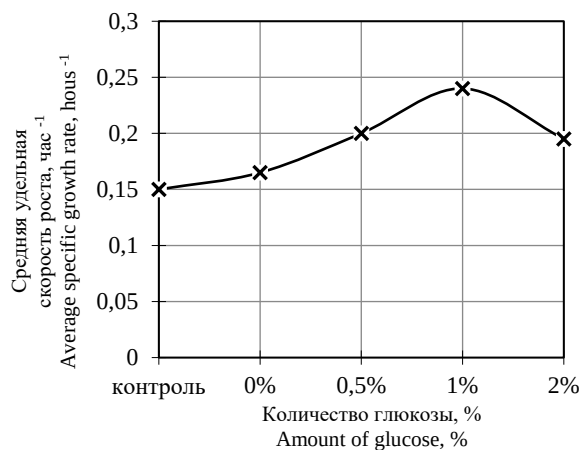


Рисунок 3. Влияние глюкозы на рост клеток бифидобактерий

Figure 3. The effect of glucose on the growth of bifidobacteria cells

На основании представленных на рисунке 3 данных можно сделать вывод, что внесение 1% глюкозы обеспечивает максимальную скорость роста клеток бифидокультур. Титр жизнеспособных клеток бифидокультур при этом составляет 4×10^{11} к.о.е./см³. При увеличении концентрации глюкозы в среде удельная скорость роста бифидокультур снижается.

Проведенные исследования позволили оптимизировать состав питательной среды для приготовления бактериального концентрата бифидокультур *Bifidobacterium infantis* 20088 на соевой основе (таблица 1).

Таблица 1.

Состав соевой питательной среды

Table 1.

Composition of soy nutrient medium

Компоненты	Количество, г
Соевая сыворотка Soy whey	987,3
Глюкоза Glucose	10
Магний хлористый Magnesium chloride	0,3
Натрий лимоннокислый трехзамещенный Tri-substituted sodium citric acid	1,0
Калий фосфорнокислый однозамещенный Single-substituted potassium phosphoric acid	0,5
Аскорбиновая кислота Ascorbic acid	0,1
Агар микробиологический Microbiological agar	0,8

В результате проведенных исследований разработан состав питательной среды на основе соевой сыворотки для дальнейшего использования в производстве бактериального концентрата бифидокультур *B. infantis* 20088

Заключение

Полученный в ходе проведенных исследований компонентный состав питательной среды для культивирования *B. infantis* 20088 содержит все необходимые источники питания, факторы роста и обладает оптимальными физико-химическими показателями. Титр жизнеспособных клеток бифидобактерий при культивировании на соевой питательной среде составляет 10^{12} к.о.е./см³. Предположительно, что олигосахариды соевой сыворотки стимулируют рост бифидобактерий и повышают их удельную скорость роста.

Литература

- Mishkin S. Dairy sensitivity, lactose malabsorption, and elimination diets in inflammatory bowel disease // Am J Clin Nutr. 1997. V. 65. № 2. P. 564–567.
- Новик Г.И. Бифидобактерии: научные основы практического применения // Проблемы здоровья и экологии. 2006. С. 144–151.
- Ардатская М.Д. Пробиотики, пребиотики и метабиотики в коррекции микробиологических нарушений кишечника // Медицинский Совет. 2015. V. 13. P. 94–99.
- Ардатская М.Д., Столярова Л.Г., Архипова Е.В., Филимонова О.Ю. Метабиотики как естественное развитие пробиотической концепции // Трудный пациент. Гастроэнтерология. 2017. Т. 15. № 6–7. С. 35–39.
- Akinsemolu A.A. The role of microorganisms in achieving the sustainable development goals // J Clean Prod. 2018. V. 182. P. 139–155. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.02.081

- 6 Clarke G., Stilling R.M., Kennedy P.J. et al. Gut microbiota: the neglected endocrine organ // *Mol Endocrinol*. 2014. V. 28. P. 1221–1238. doi: 10.1210/me.2014–1108
- 7 Somit A., Peterson S.A. Research in biopolitics. Vol. 9. Biology and politics. The cutting edge. Bingley, UK: Emerald Group Publ. Ltd., 2011. 255 p. doi: 10.1108/ S2042–9940(2011)0000009005
- 8 Parashar A., Udayabanu M. Gut microbiota regulates key modulators of social behavior // *Eur Neuropsychopharmacol*. 2016. V. 26. P. 78–91. doi: 10.1016/j.euroneuro.2015.11.002
- 9 Дармов И.В., Чичерин И.Ю., Погорельский И.П., Лундовских И.А. Выживаемость микроорганизмов пробиотиков в условиях *in vitro*, имитирующих процесс пищеварения у человека // *Кишечная микробиота: тезисы инновационных научных статей*. 2013. V. 2. С. 4–15.
- 10 Токарева Н. Коррекция и профилактика дисбактериоза // *Эффективная фармакотерапия. Гастроэнтерология*. 2011. № 3. С. 77–84.
- 11 Bourdichon F., Berger B., Casaregola S., Farrokh C. et al. Safety demonstration of microbial food cultures (MFC) in fermented food products // *Safety Demonstration of Microbial Food Cultures (MFC) in Fermented Food Products*. 2012. V. 455. P. 2.
- 12 Marcos-Fernández R., Blanco-Míguez A., Ruiz L., Margolles A. et al. Towards the isolation of more robust next generation probiotics: The first aerotolerant *Bifidobacterium bifidum* strain // *Food Research International*. 2023. V. 165. P. 112481. doi: 10.1016/j.foodres.2023.112481
- 13 Mazzoli R., Pessione E. The neuro-endocrinological role of microbial glutamate and GABA signaling // *Front Microbiol*. 2016. V. 7. P. 1934. doi: 10.3389/fmicb.2016.01934
- 14 Crittenden R.G., Bennett L.E. Cow's milk allergy: a complex disorder // *J Am Coll Nutr*. 2005. V. 24. P. 582S–591S.
- 15 Добрян Е.И., Ильина А.М., Горлова А.Г. Производство низколактозных продуктов // *Пищевая промышленность*. 2019. № 4. С. 40–42.
- 16 Kneepkens C.M., Meijer Y. Clinical practice. Diagnosis and treatment of cow's milk allergy // *Eur J Pediatr*. 2009. V. 168. P. 891–896. doi: 10.1007/s00431–009–0955–7
- 17 Шепельская Н.Р., Проданчук Н.Г. Изофлавоноиды сои как ксеноэстрогены для человека // *Фундаментальные исследования*. 2011. № 9. С. 593–598.
- 18 Ледина А.В., Прилепская В.Н. Фитоэстрогены и изофлавоноиды сои в лечении климактерического синдрома // *Фарматека*. 2012. № 12 (245). С. 86–89.
- 19 Хабибулина Н.В. Изучение процесса получения и очистки фракций соевых изофлавоноидов совместно с изолятом белка сои // *Успехи в химии и химической технологии*. 2010. Т. 24. № 11 (116). С. 46–50.
- 20 Решетник Е.И., Фролова Н.А., Бабий Т.В. Влияние употребления изофлавонов сои на профилактику развития онкологических заболеваний // *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. *Food Technology*. 2022. Т. 11. № 2 (58). С. 88–91. doi: 10.46548/21vek-2022–1158–0015

References

- 1 Mishkin S. Dairy sensitivity, lactose malabsorption, and elimination diets in inflammatory bowel disease. *Am J Clin Nutr*. 1997. vol. 65. no. 2. pp. 564–567.
- 2 Novik G.I. *Bifidobacteria: scientific basis for practical application*. Problems of health and ecology. 2006. pp. 144–151. (in Russian).
- 3 Ardatkaya M.D. Probiotics, prebiotics and metabiotics in the correction of microecological disorders of the intestine. *Medical Council*. 2015. vol. 13. pp. 94–99. (in Russian).
- 4 Ardatkaya M.D., Stolyarova L.G., Arkhipova E.V., Filimonova O.Yu. Metabiotics as a natural development of the probiotic concept. *Difficult patient. Gastroenterology*. 2017. vo. 15. no. 6–7. pp. 35–39. (in Russian).
- 5 Akinsemolu A.A. The role of microorganisms in achieving the sustainable development goals. *J Clean Prod*. 2018. vol. 182. pp. 139–155. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.02.081
- 6 Clarke G., Stilling R.M., Kennedy P.J. et al. Gut microbiota: the neglected endocrine organ. *Mol Endocrinol*. 2014. vol. 28. pp. 1221–1238. doi: 10.1210/me.2014–1108
- 7 Somit A., Peterson S.A. Research in biopolitics. Vol. 9. Biology and politics. The cutting edge. Bingley, UK, Emerald Group Publ. Ltd., 2011. 255 p. doi: 10.1108/ S2042–9940(2011)0000009005
- 8 Parashar A., Udayabanu M. Gut microbiota regulates key modulators of social behavior. *Eur Neuropsychopharmacol*. 2016. vol. 26. pp. 78–91. doi: 10.1016/j.euroneuro.2015.11.002
- 9 Darmov I.V., Chicherin I.Yu., Pogorelsky I.P., Lundovskikh I.A. Survival of probiotic microorganisms in *in vitro* conditions simulating the digestive process in humans. *Intestinal microbiota: abstracts of innovative scientific articles*. 2013. vol. 2. pp. 4–15. (in Russian).
- 10 Tokareva N. Correction and prevention of dysbiosis. *Effective pharmacotherapy. Gastroenterology*. 2011. no. 3. pp. 77–84. (in Russian).
- 11 Bourdichon F., Berger B., Casaregola S., Farrokh C. et al. Safety demonstration of microbial food cultures (MFC) in fermented food products. *Safety Demonstration of Microbial Food Cultures (MFC) in Fermented Food Products*. 2012. vol. 455. pp. 2.
- 12 Marcos-Fernández R., Blanco-Míguez A., Ruiz L., Margolles A. et al. Towards the isolation of more robust next generation probiotics: The first aerotolerant *Bifidobacterium bifidum* strain. *Food Research International*. 2023. vol. 165. pp. 112481. doi: 10.1016/j.foodres.2023.112481
- 13 Mazzoli R., Pessione E. The neuro-endocrinological role of microbial glutamate and GABA signaling. *Front Microbiol*. 2016. vol. 7. pp. 1934. doi: 10.3389/fmicb.2016.01934
- 14 Crittenden R.G., Bennett L.E. Cow's milk allergy: a complex disorder. *J Am Coll Nutr*. 2005. vol. 24. pp. 582S–591S.
- 15 Dobriyan E.I., Ilyina A.M., Gorlova A.G. Production of low-lactose products. *Food industry*. 2019. no. 4. pp. 40–42. (in Russian).

- 16 Kneepkens C.M., Meijer Y. Clinical practice. Diagnosis and treatment of cow's milk allergy. Eur J Pediatr. 2009. vol. 168. pp. 891-896. doi: 10.1007/s00431-009-0955-7
- 17 Shepelskaya N.R., Prodanchuk N.G. Soy isoflavonoids as xenoestrogens for humans. Fundamental Research. 2011. no. 9. pp. 593-598. (in Russian).
- 18 Ledina A.V., Prilepskaya V.N. Phytoestrogens and soy isoflavonoids in the treatment of menopausal syndrome. Farmateka. 2012. no. 12 (245). pp. 86-89. (in Russian).
- 19 Khabibulina N.V. Study of the process of obtaining and purifying soy isoflavonoid fractions together with soy protein isolate. Advances in chemistry and chemical technology. 2010. vol. 24. no. 11 (116). pp. 46-50. (in Russian).
- 20 Reshetnik E.I., Frolova N.A., Babiy T.V. The effect of consuming soy isoflavones on the prevention of cancer. XXI century: results of the past and problems of the present plus. Food Technology. 2022. vol. 11. no. 2 (58). pp. 88-91. doi: 10.46548/21vek 2022-1158-0015. (in Russian).

Сведения об авторах

Ирина В. Боярина д.т.н., профессор, базовая кафедра «Биоэкономики и продовольственной безопасности» Инновационного технологического центра Передовой инженерной школы «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем», Дальневосточный федеральный университет, п. Аякс, 10, о. Русский, г. Владивосток, Приморский край, 690922, Россия, boyarinevaiv@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-4791-884X>

Ирина С. Хамагаева д.т.н., профессор, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, ул. Ключевская, 40 в, г. Улан-Удэ, 670013, Россия, ikhamagaeva@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-4294-5857>

Наталья А. Замбалова к.э.н., доцент, кафедра технологии и организации питания, сервис и туризм, Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, ул. Ключевская, 40 в, г. Улан-Удэ, 670013, Россия, 670013, Россия, zambalova2015@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0571-9097-5109>

Вклад авторов

Ирина В. Боярина обзор литературных источников, проведение эксперимента, написание рукописи
Ирина С. Хамагаева принадлежит идея создания соевой основы для культивирования бифидобактерий, консультация в ходе исследования, написание рукописи
Наталья А. Замбалова обзор литературных источников, написание рукописи

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Irina V. Boyarineva Dr. Sci. (Engin.), professor, department of «bioeconomics and food security» of the innovative technological center of the advanced engineering school of the «institute of biotechnology, bioengineering and food systems», Far Eastern Federal University, Ajax, 10, Russian Island, Vladivostok, Primorsky Krai, 690922, Russia, boyarinevaiv@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-4791-884X>

Irina S. Khamagaeva Dr. Sci. (Engin.), professor, technology of animal products department, Far Eastern Federal Technological University of Technology and Management, Klyuchevskaya str., 40v, Ulan-Ude, 670013, Russia, ikhamagaeva@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-4294-5857>

Natalia A. Zambalova Cand. Sci. (Econ.), associate professor, technology and catering. service and tourism department, Far Eastern Federal Technological University of Technology and Management, Klyuchevskaya str., 40v, Ulan-Ude 670013, Russia, zambalova2015@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0571-9097-5109>

Contribution

Irina V. Boyarineva review of literary sources, conducting an experiment, writing a manuscript
Irina S. Khamagaeva the idea of creating a soy base for the cultivation of bifidobacteria, consultation during the study, writing a manuscript belongs to
Natalia A. Zambalova review of literary sources, writing a manuscript

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 05/04/2023	После редакции 27/04/2023	Принята в печать 19/05/2023
Received 05/04/2023	Accepted in revised 27/04/2023	Accepted 19/05/2023

Варианты заморозки полуфабрикатов из биоактивированной пшеницы в технологии хлеба зернового

Надежда Н. Алёхина¹ nadinat@yandex.ru  0000-0002-3317-9858Ирина А. Бакаева¹ irina_losevo@mail.ru  0000-0001-8738-1632¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. В настоящее время актуальными являются исследования, посвященные замораживанию полуфабрикатов хлебопекарного производства и готовых хлебобулочных изделий, особенно из биоактивированного зерна пшеницы, так как данная продукция имеет профилактическую и функциональную направленность за счет ценного химического состава. Поэтому на первой стадии изучали влияние вариантов замораживания на изменение температуры и скорости замораживания полуфабриката, на второй – оценивали органолептические и физико-химические показатели качества хлеба, полученного с применением разных вариантов замораживания, на третьей – строили циклограммы процесса приготовления хлеба на основе замороженных полуфабрикатов из биоактивированной пшеницы. Объектами исследования являлись образцы полуфабрикатов из биоактивированной пшеницы, приготовленные с применением четырех вариантов замораживания полуфабрикатов: теста после замеса, тестовых заготовок после формования, расстойки и с готовностью на 70-75 %. Указанные образцы подвергали шоковой заморозке при температуре -35 °C до достижения температуры в центре -18 °C. В результате исследований установлены три периода процесса замораживания для теста, тестовых заготовок и полувыпеченных изделий из биоактивированного зерна пшеницы. Наибольшей была продолжительность замораживания до -18 °C полуфабрикатов повышенной степени готовности (вариант № 4), наименьшей – при замораживании теста после замеса (вариант № 1). Наилучшие органолептические и физико-химические показатели качества готовых изделий наблюдались в образцах хлеба, приготовленных по вариантам № 1 и № 4. На основе проведенных исследований разработана технология хлеба «Айсбрэд» и построены циклограммы, визуально отражающие основные стадии его технологического процесса.

Ключевые слова: биоактивированная пшеница, полуфабрикат, замораживание, зерновой хлеб, показатели качества.

Options for freezing semi-finished products from bioactivated wheat in grain bread technology

Nadezhda N. Alekhina¹ nadinat@yandex.ru  0000-0002-3317-9858Irina A. Bakaeva¹ irina_losevo@mail.ru  0000-0001-8738-1632¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. Currently, studies on the freezing of semi-finished bakery products and finished bakery products, especially from bioactivated wheat grain, are relevant, since these products have a preventive and functional orientation due to their valuable chemical composition. Therefore, at the first stage, the effect of freezing options on the change in temperature and freezing rate of the semi-finished product was studied, at the second - the organoleptic and physico-chemical quality indicators of bread obtained using different freezing options were evaluated, at the third - the cyclograms of the bread preparation process based on frozen semi-finished products from bioactivated wheat were built. The objects of the study were samples of semi-finished products from bioactivated wheat prepared using four options for freezing semi-finished products: dough after kneading, dough blanks after molding, proofing and with a readiness of 70-75 %. These samples were subjected to shock freezing at a temperature of -35 °C until the temperature in the center reached -18 °C. As a result of the research, three periods of the freezing process were established for dough, dough blanks and semi-baked products made of bioactivated wheat grain. The longest was the duration of freezing to -18 °C of semi-finished products of an increased degree of readiness (option № 4), the shortest was when freezing the dough after kneading (option № 1). The best organoleptic and physico-chemical indicators of the quality of finished products were observed in bread samples prepared according to variants № 1 and № 4. Based on the conducted research, the Icebread bread technology was developed and cyclograms were constructed that visually reflect the main stages of its technological process.

Keywords: bioactivated wheat, semi-finished product, freezing, grain bread, quality indicators.

Введение

Обеспечение населения граждан нашей страны безопасными, качественными и функциональными изделиями, в том числе хлебобулочными, является важнейшим направлением государственной политики Российской Федерации [1, 2]. Поэтому расширение ассортимента продуктов для здорового питания с использованием доступной сырьевой базы является одним из перспективных направлений пищевой промышленности. Данному направлению соответствует технология зернового хлеба, который имеет высокую пищевую, биологическую ценность и функциональность. Хлебобулочные изделия

из биоактивированной пшеницы богаты клетчаткой, витаминами группы В, Е, макро- и микроэлементами, незаменимой аминокислотой – лизином. В связи с этим все больше розничных торговых сетей специализируется на выпуске зернового хлеба как продукта для правильного, здорового питания [3–6]. Технология его приготовления является ресурсосберегающей, в ней отсутствует стадия получения муки из зерна, однако она включает технологические этапы набухания и проращивания, для которых должно быть использовано дополнительное специализированное оборудование [7–12].

Для цитирования

Алёхина Н.Н., Бакаева И.А. Варианты заморозки полуфабрикатов из биоактивированной пшеницы в технологии хлеба зернового // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 2. С. 136–143. doi:10.20914/2310-1202-2023-2-136-143

For citation

Alekhina N.N., Bakaeva I.A. Options for freezing semi-finished products from bioactivated wheat in grain bread technology. Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 2. pp. 136–143. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-2-136-143

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

Для того чтобы расширить ассортимент зернового хлеба и сделать его более доступным для большинства потребителей, можно использовать технологии замораживания полуфабрикатов из биоактивированной пшеницы с последующим допеканием как на больших предприятиях, так и на предприятиях малой мощности, в островках по продаже изделий в торговых центрах и других мобильных точках питания [13–17].

На современном этапе интерес в хлебопекарной отрасли привлекают способы получения замороженных полуфабрикатов, а также готовых изделий из них. Однако данных о получении их с применением биоактивированного зерна пшеницы недостаточно.

Цель работы – выбор вариантов заморозки полуфабрикатов из биоактивированной пшеницы с целью выпекания зернового хлеба с улучшенными органолептическими и физико-химическими свойствами.

Исследования были проведены в 3 стадии: на 1-й стадии устанавливали, как влияют варианты заморозки на перемену температуры полуфабрикатов и скорости их замораживания; на 2-й стадии шла оценка органолептических и физико-химических свойств качества хлеба

при применении различных вариантов замораживания; на 3-й стадии шло построение циклограмм процесса приготовления хлеба.

Материалы и методы

Объектами исследования являлись четыре образца замороженных до -18°C полуфабрикатов из биоактивированной пшеницы и изделия на их основе:

замораживание теста при $t = -35^{\circ}\text{C}$ после замеса (вариант 1)

замораживание тестовой заготовки при $t = -35^{\circ}\text{C}$ после формования (вариант 2)

замораживание тестовой заготовки при $t = -35^{\circ}\text{C}$ после расстойки (вариант 3)

замораживание тестовой заготовки с готовностью на 70–75% при $t = -35^{\circ}\text{C}$, предварительно охлажденной после выпечки до температуры 35°C в центре полувыпеченного хлеба (вариант 4)

Получение зерновой массы из биоактивированной пшеницы и теста на его основе шло по схеме (рисунок 1, 2).

Показатели качества хлеба из замороженных полуфабрикатов из биоактивированного зерна пшеницы изучали спустя 19 ± 1 ч после выпекания по общепринятым методикам.

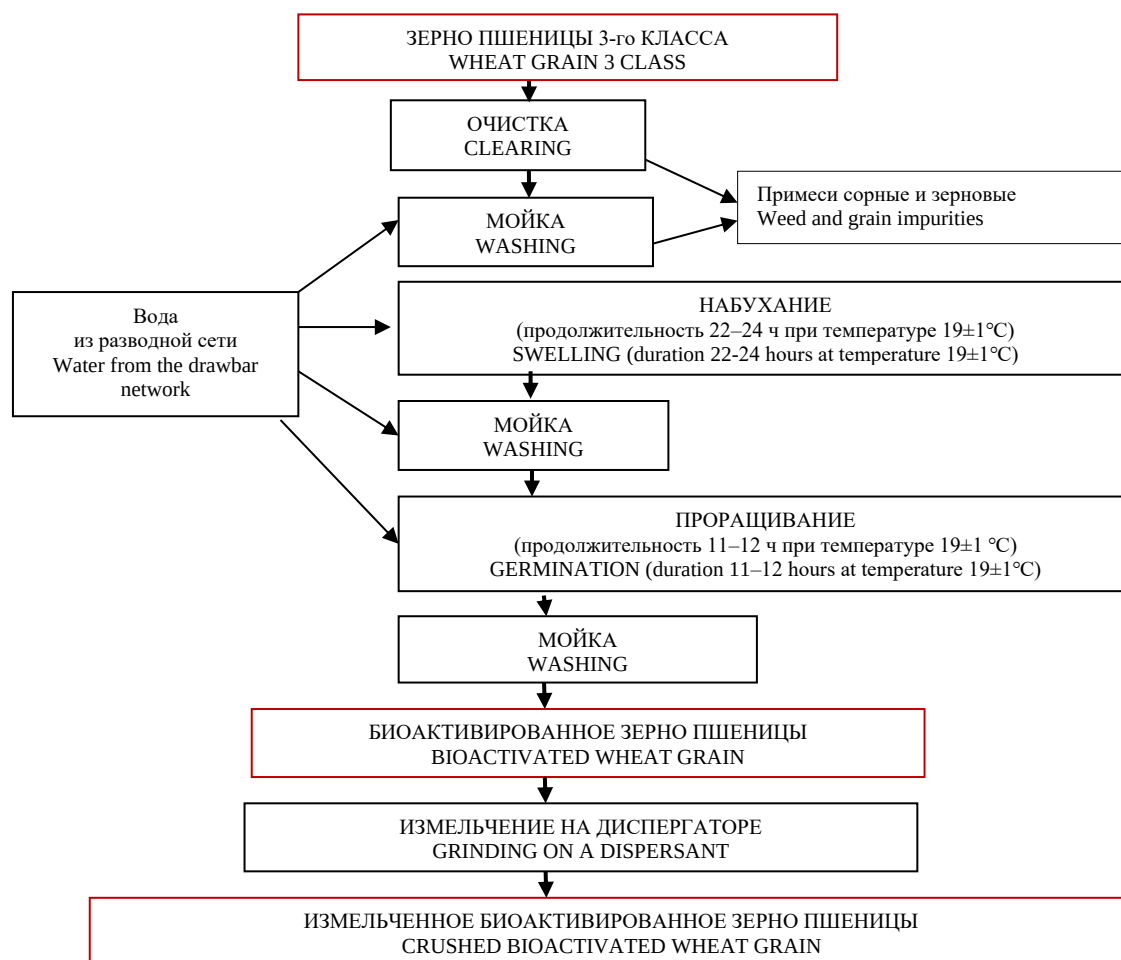


Рисунок 1. Функциональная схема получения измельченной зерновой массы
Figure 1. Functional scheme for obtaining crushed grain mass

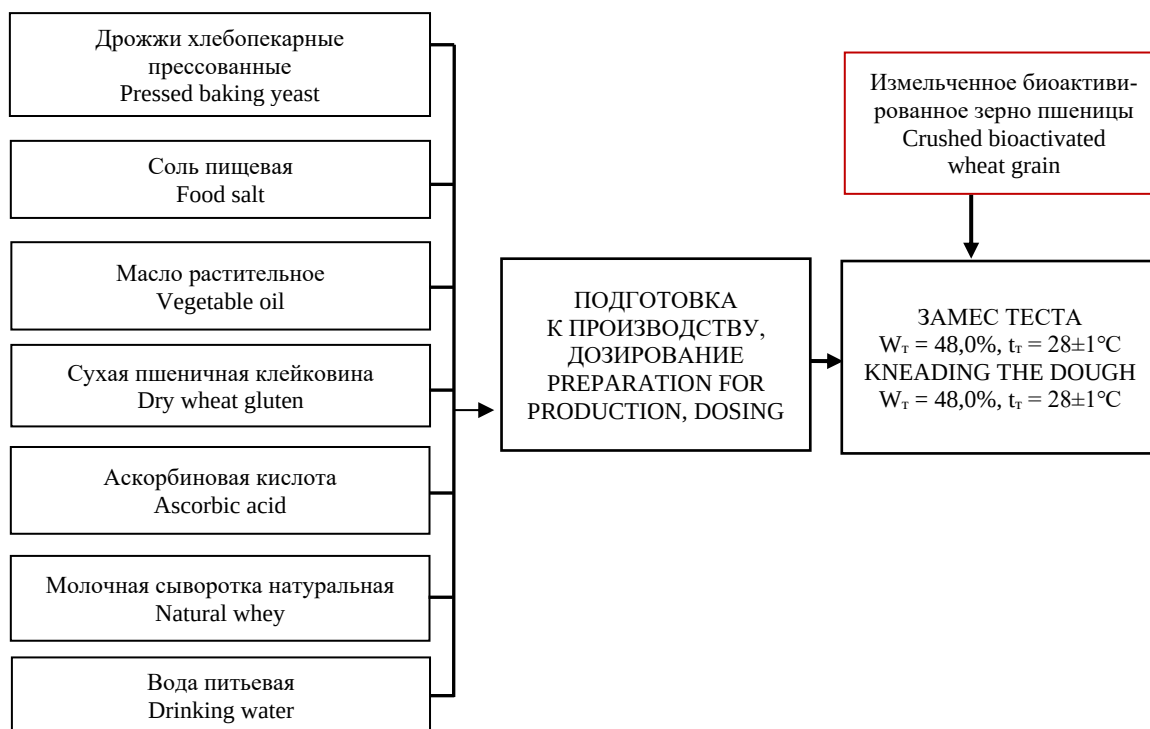


Рисунок 2. Функциональная схема получения теста на основе измельченной зерновой массы

Figure 2. Functional scheme for obtaining a dough based on crushed grain mass

Обсуждение

На 1-й стадии опытов отметили, что полуфабрикаты, взятые из разных этапов технологического процесса и отправленные в камеру на заморозку, имели разное время замораживания до -18°C и начало периода кристаллообразования (рисунок 3 а).

Были отмечены важные этапы процесса заморозки полуфабрикатов: на 1-м этапе шло охлаждение от начальной температуры образцов (для образца № 1– 25°C , для образца № 2– 26°C , для образца № 3– 32°C и для образца № 4– 35°C) до 0°C (начало кристаллизации влаги); на 2-м этапе шло кристаллообразование от $-0,5$ до -5°C ; на 3-м этапе было промерзание до температуры -18°C .

Так, для образца № 1 первый этап составил от 0 до 16 мин, 2-й – от 16 до 31 мин, третий – от 31 до 66 мин, для образца № 4 первый, второй, третий этапы – от 0 до 28 мин, от 28 до 48 мин, от 48 до 90 мин соответственно.

Выявили, что время заморозки до -18°C наибольшее в образце № 4, наименьшее – в образце № 1. Это обусловлено меньшим содержанием в образце № 4 свободной влаги, поэтому для его заморозки нужно больше времени. Тестовая заготовка для образца № 1 была отправлена в камеру для заморозки после замеса. Структура заготовки была плотной, имела большую теплопроводность в сравнении с разрыхленными

тестовыми заготовками образцов № 2 и 3, поэтому быстрее замораживалась до нужной температуры -18°C , образец № 3 после расстойки был помещен на заморозку. Его структура была более разрыхленной в сравнении с отформованным образцом № 2, поэтому медленнее замораживалась.

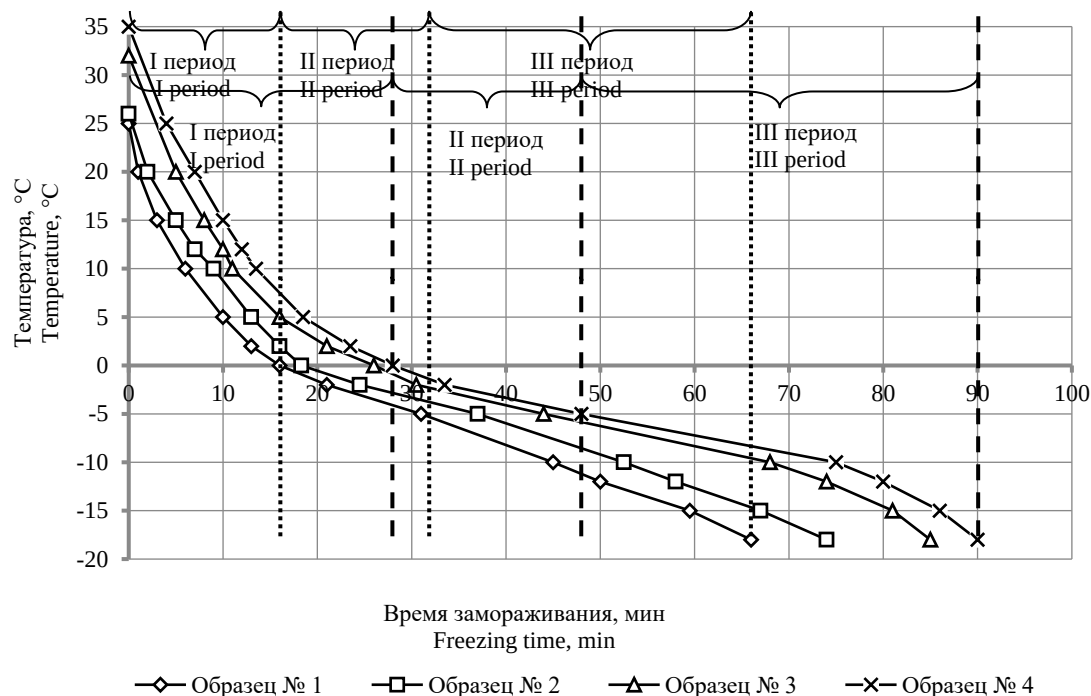
При заморозке теста учитывается скорость. Мы знаем, что при медленной заморозке влага перераспределяется и образует крупные кристаллы льда в межклеточном пространстве. При быстрой заморозке или ускорении теплоотвода нет пропорционального ускорения перемещения влаги и кристаллы льда формируются в местах естественного распределения влаги, имеют маленький размер и меньше нарушают структуру продукта [19, 20].

Через 5 мин заморозки в камере при -35°C скорость замораживания снижалась во всех пробах, исключение составлял образец № 4, там она уменьшалась спустя 10 мин после начала замораживания (рисунок 3 б).

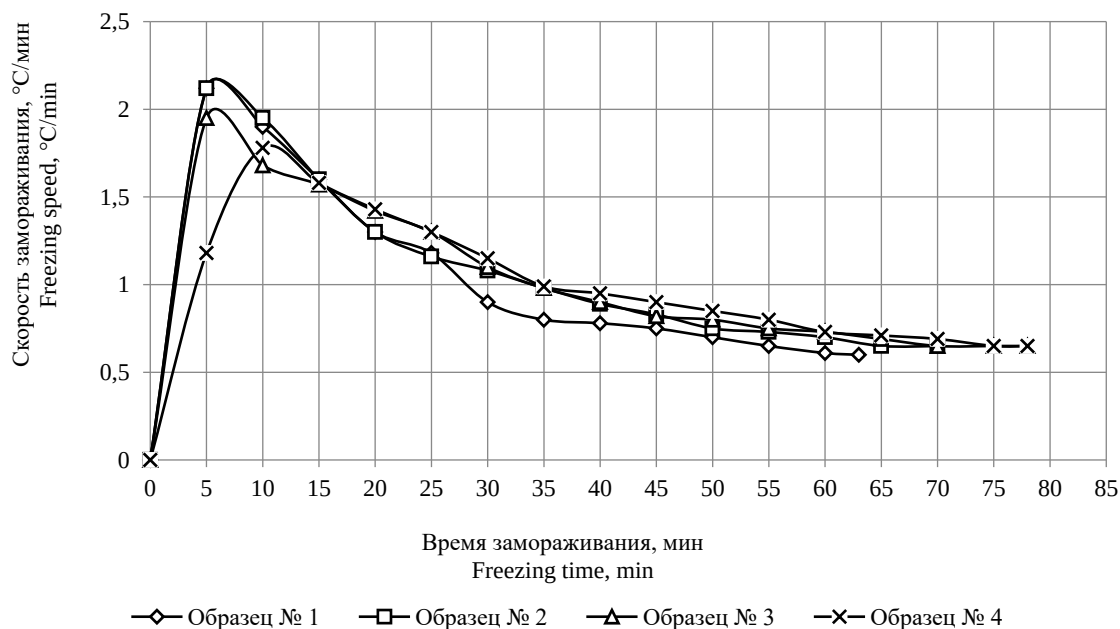
Наибольшая скорость заморозки после 5 мин была в образце № 1 ($2,12^{\circ}\text{C}/\text{мин}$), наименьшая – в образце № 4 ($1,18^{\circ}\text{C}/\text{мин}$), что связано с более плотной, неразрыхленной структурой заготовки в образце № 1 и большим количеством свободной влаги в отличие от пористой структуры мякиша полувыпеченного полуфабриката (образец № 4).

На 2-м этапе опытов оценивали качество изделий по органолептическим и физико-химическим свойствам (рисунок 5 а, б). Наибольший удельный объем ($245 \text{ см}^3/100 \text{ г.}$) и формоустойчивость (0,29) имел образец № 4, в котором данные значения были больше на 4,8 и 10,3 %, 10,2 и 27,6 %, 16,32 и 34,5 % в сравнении с образцами № 1, 2, 3 соответственно.

Установили, что наибольшая удельная набухаемость (290 см^3) была у образца № 4, ее значение больше в сравнении с образцами № 1, 2 и 3 на 1,7, 6,5 и 9,3 % соответственно.



(a)



(b)

Рисунок 3. Динамика изменения температуры в центре образцов (а) и скорости их замораживания (б) в процессе замораживания (три периода кристаллообразования указаны для образца № 1 и образца № 4)

Figure 3. Dynamics of temperature changes in the center of samples (a) and their freezing rate (b) during freezing (three periods of crystal formation are indicated for sample № 1 and sample № 4)

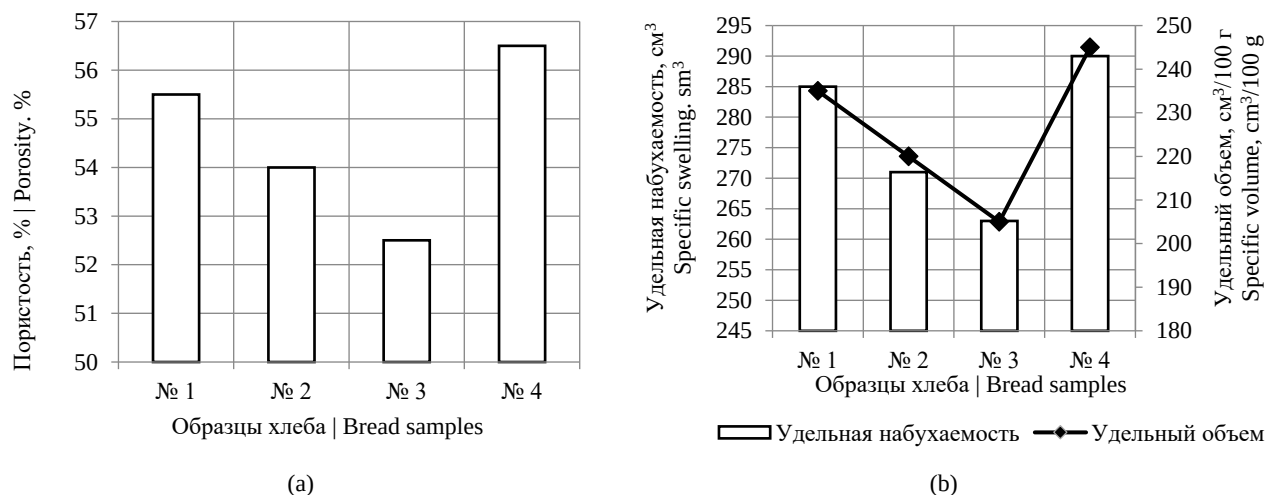


Рисунок 4. Пористость (а), удельная набухаемость и удельный объем (б) образцов хлеба на основе замороженных полуфабрикатов из биоактивированной пшеницы

Figure 4. Porosity (a), specific swelling and specific volume (b) of bread samples based on frozen semi-finished products from bioactivated wheat

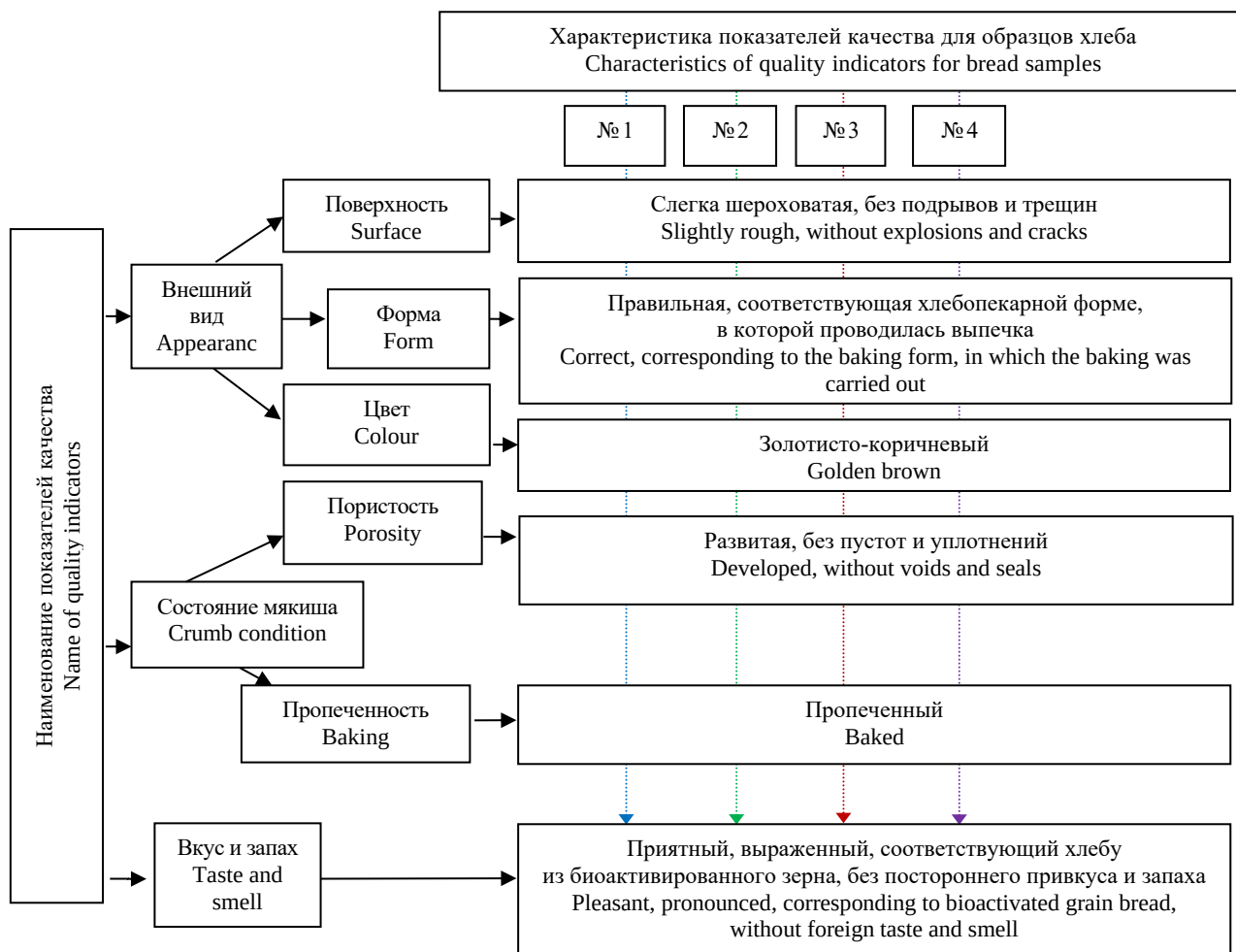


Рисунок 5. Органолептические показатели качества хлеба на основе замороженных полуфабрикатов из биоактивированной пшеницы

Figure 5. Organoleptic indicators of bread quality based on frozen semi-finished products from bioactivated wheat

Все образцы имели эластичный мякиш, нежную консистенцию во время разжевывания. Лучшими по качеству были образцы хлеба № 1 и № 4 (рисунок 5, 6).

Результаты опытов стали основой для разработки технологии хлеба «Айсбрэд» на основе замороженных полуфабрикатов.

На 3-м этапе строили циклограммы изготовления хлеба «Айсбрэд» с применением выбранных вариантов замораживания 1 и 4 (рисунок 7).

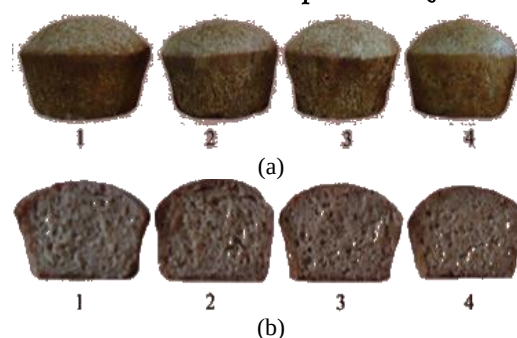
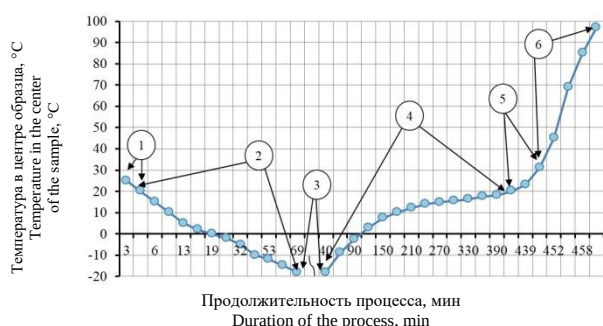


Рисунок 6. Внешний вид (а) и структура пористости (б) образцов хлеба на основе замороженных полуфабрикатов из биоактивированной пшеницы: 1 – образец № 1; 2 – образец № 2; 3 – образец № 3; 4 – образец № 4

Figure 6. Appearance (a) and porosity structure (b) sample bread based on frozen semi-finished products from bioactivated wheat: 1 – sample № 1; 2 – sample № 2; 3 – sample № 3; 4 – sample № 4



1 – замес; 2 – замораживание; 3 – хранение; 4 – размораживание; 5 – брожение, формование и расстойка (тестовой заготовки массой 0,07 кг); 6 – выпечка
1 – kneading; 2 – freezing; 3 – storage; 4 – defrosting; 5 – fermentation, molding and proofing (of a test piece weighing 0,07 kg); 6 – baking

(a)



1 – замес, брожение, разделка, формование, расстойка (тестовой заготовки массой 0,07 кг); 2 – выпечка (до готовности на 70–75 %); 3 – охлаждение (до 35 °С); 4 – замораживание; 5 – хранение; 6 – размораживание; 7 – допекание
1 – kneading, fermentation, cutting, molding, proofing (of a test billet weighing 0,07 kg); 2 – baking (until 70–75 % ready); 3 – cooling (up to 35 °C); 4 – freezing; 5 – storage; 6 – defrosting; 7 – baking

(b)

Рисунок 7. Циклограмма процесса приготовления хлеба «Айсбрэд» на основе замороженного теста (а) и замороженного полуфабриката повышенной степени готовности (б) из биоактивированной пшеницы

Figure 7. Cyclogram of the process of making Icebread bread based on frozen dough (a) and frozen semi-finished product of increased readiness (b) from bioactivated wheat

Закключение

Базируясь на опытах, установили 3 этапа процесса заморозки для теста, тестовых заготовок и полувыпеченных изделий из биоактивированной пшеницы. Определена продолжительность их замораживания до -18°C в зависимости от способа приготовления. Наибольшее количество времени до указанной температуры требовалось на замораживание образца № 4, наименьшее – для образца № 1. Наибольшую скорость заморозки после 5 мин имел образец № 1, наименьшую – образец № 4. В ходе оценки органолептических и физико-химических свойств качества зернового хлеба установлены преимущества его получения по варианту 1 (замораживание теста после замеса), 4 (замораживание полувыпеченного полуфабриката). На основе проведенных исследований

построены циклограммы процесса приготовления хлеба «Айсбрэд» с применением выбранных замороженных полуфабрикатов из биоактивированной пшеницы № 1 и № 4, на которых отражены основные этапы технологического процесса.

Полученные данные свидетельствуют о целесообразности применения выбранных вариантов в технологии изготовления хлеба на основе замороженных полуфабрикатов из биоактивированной пшеницы. Это будет способствовать мобильности производственных процессов, сокращению времени приготовления изделий, что актуально для предприятий малой мощности. Выбранные варианты также позволят повысить эффективность производства предприятий по выработке зернового хлеба за счет снижения потерь на брак.

Литература

- 1 Карташова Н.А., Грушинец В.А. Основные направления государственной политики сфере развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации и Дальневосточного региона и их закрепление в программных документах и документах стратегического планирования федерального уровня // *Московский экономический журнал*. 2023. Т. 7. №. 3. С. 754-770. doi: 10.55186/25876740_2023_7_3_20
- 2 Моисеенко М.С., Мукатова М.Д. Пищевые продукты питания функциональной направленности и их назначение // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство*. 2019. №. 1. С. 145-152. doi: 10.24143/2073-5529-2019-1-145-152
- 3 Гуськова П.А., Агапкин А.М. Зерновой хлеб: пищевая ценность, оценка качества и ассортимент // *Товаровед продовольственных товаров*. 2021. № 9. С. 673-681. doi: 10.33920/igt-01-2109-05
- 4 Wang Y., Jian C., Salonen A., Dong M. et al. Designing healthier bread through the lens of the gut microbiota // *Trends in Food Science & Technology*. 2023. doi:10.1016/j.tifs.2023.02.007
- 5 Torbica A., Radosavljević M., Belović M., Djukić N. et al. Overview of nature, frequency and technological role of dietary fibre from cereals and pseudocereals from grain to bread // *Carbohydrate Polymers*. 2022. 119470. doi: 10.1016/j.carbpol.2022.119470
- 6 Mir S.A., Farooq S., Shah M.A., Sofi S.A. et al. Recent advancements in the development of multigrain bread // *Cereal Chemistry*. 2023. V. 100. №.1. P. 72-82. doi: 10.1002/cche.10578.
- 7 Матюшев В.В., Чаплыгина И.А., Семенов А.В., Канюка С.Е. Перспективные конструкции для проращивания зерна // *Парадигма устойчивого развития агропромышленного комплекса в условиях современных реалий*. 2022. С. 287-290.
- 8 Зенькова М.Л., Акулич А.В. Влияние процесса проращивания зерен злаковых культур на их пищевую ценность // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2021. №. 3. С. 26-53. doi: 10.36107/spfp.2021.207.
- 9 Науменко Н.В., Потороко И.Ю., Калинина И.В. Интенсификация процесса проращивания зерна, используемого для производства хлеба, и его влияние на качество готовых изделий // *Индустрия питания/Food Industry*. 2019. Т. 4. №. 1. С. 47-54. doi: 10.29141/2500-1922-2019-4-1-5
- 10 Науменко Н.В., Фаткуллин Р.И., Калинина И.В., Науменко Е.Е. и др. Контролируемое проращивание зерновых культур - эффективный способ переработки низкокачественного сырья // *Аграрная наука*. 2023. №. 7. С. 149-154. doi: 10.32634/0869-8155-2023-372-7-149-154
- 11 Rashwan A.K., Yones H.A., Karim N., Taha E.M. et al. Potential processing technologies for developing sorghum-based food products: An update and comprehensive review // *Trends in Food Science & Technology*. 2021. V. 110. P. 168-182. doi: 10.1016/j.tifs.2021.01.087
- 12 Cardone G., D'Incecco P., Casiraghi M.C., Marti A. Exploiting milling by-products in bread-making: The case of sprouted wheat // *Foods*. 2020. V. 9. №. 3. P. 260. doi: 10.3390/foods9030260
- 13 Конева С.И., Захарова А.С. Влияние условий дефростации замороженных полуфабрикатов из многокомпонентных смесей на качество готовых изделий // *Ползуновский вестник*. 2022. №. 3. С. 95-100. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.013
- 14 Алехина Н.Н., Бакаева И.А., Бородкина А.С., Феофанова Т.М. Влияние пищевой добавки на продолжительность замораживания полуфабрикатов и качество зернового хлеба // *Пищевая промышленность*. 2023. № 4. С. 14-18. doi: 10.52653/PPI.2023.4.4.002
- 15 Лосевская С.А., Хамзаев Р.Р. Инновационные технологии в сфере производства хлеба // *Научные исследования, разработки и практические внедрения*. 2022. С. 468-470.
- 16 Алехина Н.Н., Пономарева Е.И. Влияние продолжительности хранения замороженного теста на его свойства и качество зернового хлеба // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2021. № 1. С. 25-29. doi: 10.26297/0579-3009.2021.1.5
- 17 Жукова Ю.С., Маринина А.Ю., Лыбенко Е.С., Хлопов А.А. Обоснование необходимости проектирования хлебобулочных изделий лечебно-профилактического назначения для больных сахарным диабетом // *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания*. 2021. №. 4. С. 17-24. doi: 10.24412/2311-6447-2021-4-17-24
- 18 Ding X., Li T., Zhang H., Guan C. et al. Effect of barley antifreeze protein on dough and bread during freezing and freeze-thaw cycles // *Foods*. 2020. V. 9. №. 11. P. 1698. doi: 10.3390/foods9111698
- 19 Ландиховская А.В., Творогова А.А. Размороженные продукты с сохраненной микро- и макроструктурой // *Пищевые системы*. 2022. С. 195. doi: 10.21323/2618-9771-2022-5-3-195-201
- 20 Никитенков И.И., Твердохлеб Р.С., Кузьмина И.А. Инновационные методы замораживания продуктов в пищевой отрасли // *Инновационные научные исследования*. 2022. № 6-1(20). С. 46-53. doi: 10.5281/zenodo.7089423

References

- 1 Kartashova N.A., Grushinets V.A. The main directions of state policy in the field of development of the fisheries complex of the Russian Federation and the Far Eastern region and their consolidation in program documents and strategic planning documents of the federal level. *Moscow Economic Journal*. 2023. vol. 7. no. 3. pp. 754-770. doi: 10.55186/25876740_2023_7_3_20 (in Russian).
- 2 Moiseenko M.S., Mukatova M.D. Food products of functional orientation and their purpose. *Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries*. 2019. no. 1. pp. 145-152. doi: 10.24143/2073-5529-2019-1-145-152 (in Russian).
- 3 Guskova P.A., Agapkin A.M. Grain bread: nutritional value, quality assessment and assortment. *Commodity specialist of food products*. 2021. no. 9. pp. 673-681. doi: 10.33920/igt 01-2109-05 (in Russian).
- 4 Wang Y., Jian C., Salonen A., Dong M., Yang Z. Designing healthier bread through the lens of the gut microbiota. *Trends in Food Science & Technology*. 2023. doi: 10.1016/j.tifs.2023.02.007

- 5 Torbica A., Radosavljević M., Belović M., Djukić N. et al. Overview of nature, frequency and technological role of dietary fibre from cereals and pseudocereals from grain to bread. *Carbohydrate Polymers*. 2022. 119470. doi: 10.1016/j.carbpol.2022.119470
- 6 Mir S.A., Farooq S., Shah M.A., Sofi S.A. et al. Recent advancements in the development of multigrain bread. *Cereal Chemistry*. 2023. vol. 100. no. 1. pp. 72-82. doi: 10.1002/cche.10578
- 7 Matyushev V.V., Chaplygina I.A., Semenov A.V., Kanyuka S.E. Perspective constructions for grain germination. Paradigm of sustainable development of the agro-industrial complex in the conditions of modern realities. 2022. pp. 287-290. (in Russian).
- 8 Zenkova M.L., Akulich A.V. The influence of the process of germination of cereal grains on their nutritional value. Storage and processing of agricultural raw materials. 2021. no. 3. pp. 26-53. doi: 10.36107/spfp.2021.207 (in Russian).
- 9 Naumenko N.V., Potoroko I.Yu., Kalinina I.V. Intensification of the process of germination of grain used for bread production and its impact on the quality of finished products. *Food Industry/Food Industry*. 2019. vol. 4. no. 1. pp. 47-54. doi: 10.29141/2500-1922-2019-4-1-5 (in Russian).
- 10 Naumenko N.V., Fatkullin R.I., Kalinina I.V., Naumenko E.E. et al. Controlled germination of grain crops - an effective way of processing low-quality raw materials. *Agrarian Science*. 2023. no. 7. pp. 149-154. doi: 10.32634/0869-8155-2023-372-7-149-154 (in Russian).
- 11 Rashwan A.K., Yones H.A., Karim N., Taha E.M. et al. Potential processing technologies for developing sorghum-based food products: An update and comprehensive review. *Trends in Food Science & Technology*. 2021. vol. 110. pp. 168-182. doi: 10.1016/j.tifs.2021.01.087
- 12 Cardone G., D'Incecco P., Casiraghi M.C., Marti A. Exploiting milling by-products in bread-making: The case of sprouted wheat. *Foods*. 2020. vol. 9. no. 3. pp. 260. doi: 10.3390/foods9030260
- 13 Koneva S.I., Zakharova A.S. Influence of defrosting conditions of frozen semi-finished products from multicomponent mixtures on the quality of finished products. *Polzunovsky vestnik*. 2022. no. 3. pp. 95-100. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.013 (in Russian).
- 14 Alyokhina N.N., Bakaeva I.A., Borodkina A.S., Feofanova T.M. The effect of a food additive on the duration of freezing of semi-finished products and the quality of grain bread. *Food industry*. 2023. no. 4. pp. 14-18. doi: 10.52653/PPI.2023.4.4.002 (in Russian).
- 15 Losevskaya S.A., Khamzaev R.R. Innovative technologies in the field of bread production. Scientific research, development and practical implementation. 2022. pp. 468-470. (in Russian).
- 16 Alyokhina N.N., Ponomareva E.I. The influence of the storage duration of frozen dough on its properties and the quality of grain bread. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Food technology*. 2021. no. 1. pp. 25-29. doi: 10.26297/0579-3009.2021.1.5 (in Russian).
- 17 Zhukova Yu.S., Marinina A.Yu., Lybenko E.S., Khlopov A.A. Substantiation of the need for designing bakery products for therapeutic and preventive purposes for patients with diabetes mellitus. Technologies of the food and processing industry of the agroindustrial complex-healthy food products. 2021. no. 4. pp. 17-24. doi: 10.24412/2311-6447-2021-4-17-24 (in Russian).
- 18 Ding X., Li T., Zhang H., Guan C., Qian J., Zhou X. Effect of barley antifreeze protein on dough and bread during freezing and freeze-thaw cycles. *Foods*. 2020. vol. 9. no. 11. pp. 1698. doi: 10.3390/foods9111698
- 19 Landikhovskaya A.V., Tvorogova A.A. Defrosted products with preserved micro- and macrostructure. *Food systems*. 2022. pp. 195. doi: 10.21323/2618-9771-2022-5-3-195-201 (in Russian).
- 20 Nikitenkov I.I., Tverdokhlebov R.S., Kuzmina I.A. Innovative methods of freezing products in the food industry. Innovative scientific research. 2022. no. 6-1(20). pp. 46-53. doi: 10.5281/zenodo.7089423 (in Russian).

Сведения об авторах

Надежда Н. Алехина д.т.н., доцент, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, nadinat@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3317-9858>

Ирина А. Бакаева к.т.н., старший преподаватель, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, irina_losevo@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8738-1632>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Nadezhda N. Alekhina Dr. 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, nadinat@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3317-9858>

Irina A. Bakaeva Cand. Sci. (Engin.), senior lecturer, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, irina_losevo@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8738-1632>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 06/04/2023	После редакции 24/04/2023	Принята в печать 22/05/2023
Received 06/04/2023	Accepted in revised 24/04/2023	Accepted 22/05/2023

Влияние фукоидана и инулина на экспрессию генов метаболизма *Lactobacillus plantarum*

Михаил Ю. Сыромятников	^{1, 2}	mihan.vrn@mail.ru	 0000-0001-9028-0613
Екатерина Ю. Нестерова	^{1, 2}	katya.nesterova.1997@mail.ru	 0000-0003-0918-3547
Мария И. Гладких	^{1, 2}	mariya221095@ya.ru	 0000-0003-1173-1565
Анна А. Толкачева	¹	anna-biotech@ya.ru	 0000-0003-0725-6482
Ольга В. Бондарева	¹	bond.vrn15@ya.ru	 0000-0002-7051-9858
Василий Н. Попов	^{1, 2}	pvv@bio.vsu.ru	 0000-0003-1294-8686

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

² Воронежский государственный университет, Университетская пл. 1, г. Воронеж, 394018, Россия

Аннотация. В ходе проведенных исследований выявлен наиболее стабильный референсный ген у *Lactobacillus plantarum*. Установлено, что экспрессия гена *rpoD* была наиболее стабильна при добавлении фукоидана и инулина. Уровень экспрессии гена *usp* у бактерий *L. plantarum* увеличился в 4 раза при добавлении фукоидана по сравнению с контрольным образцом, но при добавлении инулина в среду культивирования экспрессия этого гена уменьшилась в 12 раз по сравнению с контрольным образцом. Экспрессия гена *opuA* при добавлении фукоидана увеличилась в 6 раз по сравнению с контрольным образцом, а при добавлении инулина уменьшилась в 3 раза по сравнению с контрольным образцом. Уровень экспрессии гена *ATP* у бактерий *L. plantarum* при добавлении фукоидана увеличился в 9 раз по сравнению с контрольным образцом. Экспрессия гена лактатдегидрогеназы (*ldh*) при добавлении фукоидана увеличилась в 2 раза по сравнению с контрольным образцом, тогда как при добавлении инулина уменьшилась в 18 раз по сравнению с контрольным образцом. Уровень экспрессии гена *gacT* при добавлении фукоидана уменьшился более чем в 50 раз в сравнении с контрольным образцом, а при добавлении инулина уменьшился в 12 раз по сравнению с контрольным образцом. Не было выявлено достоверных изменений в экспрессии генов *groEL* и *hsp1*. Таким образом, на основе данных по экспрессии генов, можно предположить, что при добавлении фукоидана в среду культивирования активизируются катаболические процессы в бактериях *L. plantarum*. Установлено, что добавление инулина в среду культивирования не приводит к увеличению экспрессии генов катаболизма у *L. plantarum*.

Ключевые слова: лактобактерии, фукоидан, инулин, метаболизм, экспрессия генов.

The effect of fucoidan and inulin on the expression of *Lactobacillus plantarum* metabolism genes

Mikhail Yu. Syromyatnikov	^{1, 2}	mihan.vrn@mail.ru	 0000-0001-9028-0613
Ekaterina Yu. Nesterova	^{1, 2}	katya.nesterova.1997@mail.ru	 0000-0003-0918-3547
Maria I. Gladkikh	^{1, 2}	mariya221095@ya.ru	 0000-0003-1173-1565
Anna A. Tolkacheva	¹	anna-biotech@ya.ru	 0000-0003-0725-6482
Olga V. Bondareva	¹	bond.vrn15@ya.ru	 0000-0002-7051-9858
Vasily N. Popov	^{1, 2}	pvv@bio.vsu.ru	 0000-0003-1294-8686

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

² Voronezh State University, 1 Universitetskaya pl., Voronezh, 394018, Russia

Abstract. The most stable reference gene in *Lactobacillus plantarum* was identified. It was found that the expression of the *rpoD* gene was most stable with the addition of fucoidan and inulin. The level of expression of the *usp* gene in *L. plantarum* bacteria increased by 4 times when fucoidan was added compared to the control sample, but when inulin was added to the culture medium, the expression of this gene decreased by 12 times compared to the control sample. The expression of the *opuA* gene with the addition of fucoidan increased by 6 times compared to the control sample, and with the addition of inulin decreased by 3 times compared to the control sample. The level of expression of the *ATP* gene in *L. plantarum* bacteria with the addition of fucoidan increased by 9 times in comparison with control sample. The expression of the lactate dehydrogenase (*ldh*) gene with the addition of fucoidan increased by 2 times compared with the control sample, whereas with the addition of inulin it decreased by 18 times compared to control sample. The expression level of the *gacT* gene with the addition of fucoidan decreased by more than 50 times compared to the control sample, and with the addition of inulin decreased by 12 times compared to the control sample. There were no significant changes in the expression of the *GroEL* and *hsp1* genes. Thus, based on gene expression data, it can be assumed that when fucoidan is added to the culture medium, catabolic processes in *L. plantarum* bacteria are activated. It was found that the addition of inulin to the culture medium does not lead to an increase in the expression of catabolism genes in *L. plantarum*.

Keywords: lactobacilli, fucoidan, inulin, metabolism, gene expression.

Для цитирования

Сыромятников М.Ю., Нестерова Е.Ю., Гладких М.И., Толкачева А.А., Бондарева О.В., Попов В.Н. Влияние фукоидана и инулина на экспрессию генов метаболизма *Lactobacillus plantarum* // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 2. С. 144–150. doi:10.20914/2310-1202-2023-2-144-150

For citation

Syromyatnikov M.Yu., Nesterova E.Yu., Gladkikh M.I., Tolkacheva A.A., Bondareva O.V., Popov V.N. The effect of fucoidan and inulin on the expression of *Lactobacillus plantarum* metabolism genes. Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 2. pp. 144–150. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-2-144-150

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

Введение

Науке известно широкое разнообразие природных полисахаридов, отличающихся биологической активностью и специфическими свойствами [1]. Фукоидан и инулин являются представителями данного класса соединений. Активное исследование их функциональных особенностей позволяет говорить о большом потенциале использования подобных полисахаридов на практике в качестве пребиотиков.

Получение фукоидана осуществляется преимущественно из бурых морских водорослей, а также морских трав и некоторых беспозвоночных [2]. Установлено, что полисахарид обладает множеством терапевтических эффектов, среди которых противовоспалительное, иммуномодулирующее и противомикробное действия [3]. Например, фукоидан, выделенный из *Fucus vesiculosus*, подавлял рост кариесогенных и парадонтопатогенных бактерий ротовой полости, например *Porphyromonas gingivalis* [4, 5]. Применение фукоидана в терапии заболеваний ЖКТ обеспечивает защиту желудка от *H. pylori*, за счёт снижения адгезии бактерии на стенках органа и уровня IL-6 и TNF-α [6, 7]. Побочное действие антибиотиков снижается благодаря включению в терапию фукоидана. Регистрировалось повышение содержания полезных бактерий таких таксонов, как *Muribaculaceae* и *Alloprevotella*, и сокращение *Parasutterella* и *Helicobacter*. [8]. Применение культур молочнокислых бактерий в комплексе с фукоиданом способствует повышению эффективности пробиотического действия молочнокислых бактерий на иммунную систему организма [9]. Показано, что фукоидан оказывает влияние на рост и антибактериальную активность *Lactobacillus rhamnosus* [10].

Инулин относится к группе линейных природных фруктанов, обладающих главным образом пребиотическими свойствами [11, 12]. Попадая в организм, полисахарид способствует стимуляции роста *Bifidobacterium* и *Lactobacillus* в кишечнике, снижению воспалительных процессов, поддержанию барьерной функции эпителия за счёт сокращения вероятности инвазии патогенных микроорганизмов [13–15]. Помимо молочнокислых бактерий, инулин обеспечивает рост бактерий родов *Akkermansia* и *Ruminococcus*, представители которых продуцируют короткоцепочечные жирные кислоты [16]. Подобное ремоделирование состава кишечной микробиоты может быть использовано в терапии заболеваний печени [17]. Исследование совместного влияния полисахаридов типов инулина и фукоидана на состояние толстого кишечника показало увеличение содержания *Clostridia*_UCG-014 и снижение интенсивности накопления аминокислот, а также индолов [18].

Распространённым и активно используемым пробиотическим микроорганизмом является *Lactobacillus plantarum*. Его штаммы считаются безопасными для животных и человека, а также характеризуются повышенной способностью к их выживанию в ЖКТ [19]. Широкий диапазон полезных свойств *L. plantarum* начинается с противомикробного действия и заканчивается антиоксидантной активностью [20].

Цель работы – изучение влияния фукоидана и инулина на экспрессию генов метаболизма *L. plantarum*.

Материалы и методы

Объектом исследования явился типовой штамм *Lactobacillus plantarum* из Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов (НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва), а также фукоидан (SFL Biotech LTD, Корея) и инулин (Beneo Orafti, Германия).

Культивирование осуществляли на шейкере-инкубаторе (Infors Multitron, Швейцария) в колбах Эрленмейера объемом 750 мл, заполненных 250 мл среды, при 37 °C, 160 об/мин, в течение 24 ч. Для культивирования использовали среду MRS (Thermo FS, США) с добавлением фукоидана и инулина в концентрации 0,5%.

Экстракцию тотальной РНК из культуры бактерий производили с использованием набора РНК-экстрактан («Синтол», Россия).

Для проведения реакции обратной транскрипции использовали амплификатор «Терцик» («НПО ДНК-Технология», Россия) с применением набора реактивов MMLV RT kit («Евроген», Россия).

Количественную полимеразную цепную реакцию производили на приборе Bio-Rad CFX 96 (Bio-Rad, США) с применением смеси, состоящей из 16 мкл воды, 5 мкл 5X qPCRmix-HS LowROX (Евроген, Россия), 1 мкл прямого, 1 мкл обратного праймеров и 2 мкл ДНК.

Реакцию проводили по следующему протоколу:

- 1) Инкубация при 95 °C в течение 5 мин.;
- 2) 38 циклов, каждый из которых включал: денатурацию при 95 °C на протяжении 20 с; отжиг праймеров при 58 °C на протяжении 30 с; элонгацию при 72 °C в течение 30 с.

Использовали следующие праймеры:

1. Глицеральдегид-3-фосфатдегидрогеназа (*gapdh*)
gapdh-f; CGTCGTATTATGGATTAGG
gapdh-r; GAGCTTGTGACTTAGCCTTG
2. Сигма-фактор РНК-полимеразы (*rpoD*)
rpoD-f; GTACGCGACTTGGTGGATTC
rpoD-r; ACCTTTTCCGTTGGCATGTC
3. Белок системы поглощения глицина-бетаина (*opuA*)
opuA-f; CGCGTTGACTCGTTGTTAGT
opuA-r; TCTTCAAGCCGCGTTTCAAA

4. Транспортёр аммиака (*qacT*)
qacT-f; ATTGGCGTTGAAATTGTGGG
qacT-r; CCAAACGCCCCAATTCCAAT
5. Лактатдегидрогеназа (*ldh*)
Ldh-f; GATCCTCGTTCGGTTGATGC
Ldh-r; GCAGTCCCGATACCGTAGAA
6. Фосфофруктокиназа (*pfk*)
Pfk-f; GGGACATGGAAGAAATCGCC
Pfk-r; CCCACCACGTTGCATATGAG
7. Шаперон Hsp60 (*groEL*)
groEL-f; AGAAGGCTTTGTTGCTGGTG
groEL-r; AACCCATTTCATCAGTTGCCG
8. Термогенин (*usp*)
Usp-f; CAAACCTGACTGCGCTCTAC
Usp-r; TTAAATTCGGTGCGGACGTG
9. АТФ-синтаза (*ATP*)
ATP-f; TGCACGGCGTATTCAATTCT
ATP-r; AACTTGACGGAATGCGTCTT
10. Белки теплового шока (*hsp1*)
hsp1-f; TGAAGGTTGATGTCCCTGGT
hsp1-r; TCGGCTGGGTCTTAGGTAAC

Статистический анализ проводили с использованием t-критерия Стьюдента в программе STADIA (Московский государственный университет, Россия).

Результаты и обсуждение

Первоначально был выявлен наиболее стабильный референсный ген. Исследовали 2 гена: *rpoD* и *gapdh*. В ходе исследования экспрессии референсных генов выявлено, что экспрессия гена *ldhD* была более стабильна. Поэтому дальнейшие эксперименты проводили с использованием данного гена в качестве референсного.

Далее сравнивали экспрессию маркерных генов метаболизма бактерий *L. plantarum* при добавлении фукоидана и инулина в среду культивирования.

Usp – универсальный белок стресса. Он проявляет защитные свойства по отношению к неблагоприятным факторам окружающей среды

(воздействие антибиотиков, изменение температур и т. д.). Этот белок также способствует формированию биоплёнок. Биоплёнки выступают в роли защитного фактора против патогенных бактерий. Несмотря на положительные свойства, биоплёнки также могут оказывать негативное воздействие.

В ходе исследования было выявлено, что экспрессия гена *usp* у бактерий *L. plantarum* увеличилась в 4 раза при добавлении фукоидана в сравнении с контрольным образцом. Экспрессия гена *usp* при добавлении инулина в среду культивирования уменьшилась в 12 раз по сравнению с контрольным образцом (рисунок 1).

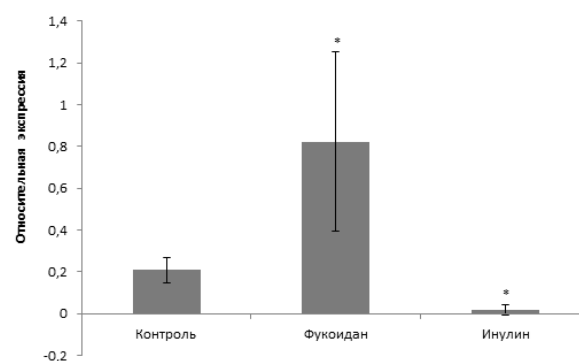


Рисунок 1. Экспрессия гена *usp* при добавлении фукоидана и инулина в среду культивирования (* разница в экспрессии гена по сравнению с контролем статистически достоверна, $p < 0.05$)

Figure 1. Expression of the *usp* gene upon the addition of fucoidan and inulin to the culture medium (* the difference in gene expression compared to the control is statistically significant, $p < 0.05$)

Достоверных изменений в уровне экспрессии генов *groEL* и *hsp1* не было выявлено (рисунок 2).

Экспрессия гена *pfk* у бактерий *L. plantarum* при добавлении инулина уменьшилась в 12 раз по сравнению с контрольным образцом (рисунок 3).

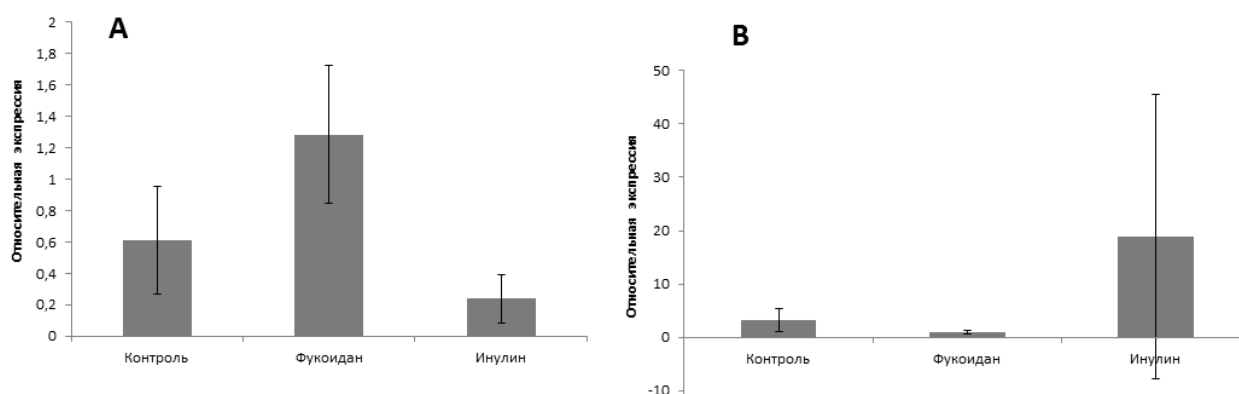


Рисунок 2. Экспрессия генов *groEL* (A) и *hsp1* (B) при добавлении фукоидана и инулина в среду культивирования

Figure 2. Expression of the *groEL* (A) and *hsp1* (B) genes upon the addition of fucoidan and inulin to the culture medium

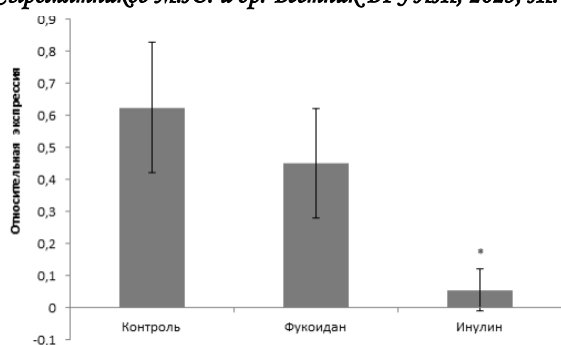


Рисунок 3. Экспрессия гена *pfk* при добавлении фукоидана и инулина в среду культивирования (* разница в экспрессии гена по сравнению с контролем статистически достоверна, $p < 0.01$)

Figure 3. Expression of the *pfk* gene upon the addition of fucoidan and inulin to the culture medium (* the difference in gene expression compared to the control is statistically significant, $p < 0.01$)

Ген *pfk* кодирует фосфофруктокиназу у бактерий. Уменьшение экспрессии этого гена говорит о снижении гликолитических процессов в бактериальной клетке, что может говорить о негативном влиянии инулина.

Экспрессия гена *oruA* у бактерий *L. plantarum* при добавлении фукоидана увеличилась в 6 раз в сравнении с контрольным образцом. Экспрессия гена *oruA* при добавлении инулина уменьшилась в 3 раза по сравнению с контрольным образцом. Этот ген кодирует белок системы поглощения глицина-бетаина, который необходим бактериям для защиты от среды с высокой осмолярностью (рисунок 4).

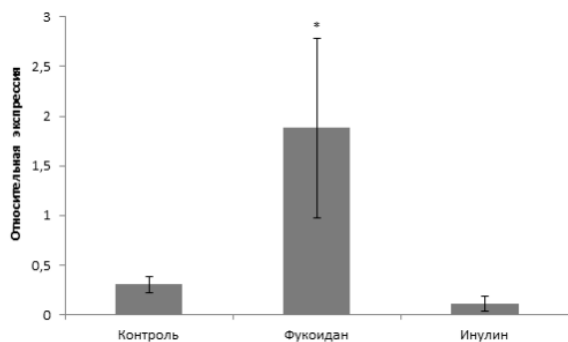


Рисунок 4. Экспрессия гена *oruA* при добавлении фукоидана и инулина в среду культивирования (* разница в экспрессии гена по сравнению с контролем статистически достоверна, $p < 0.01$)

Figure 4. Expression of the *oruA* gene upon the addition of fucoidan and inulin to the culture medium (* the difference in gene expression compared to the control is statistically significant, $p < 0.01$)

Экспрессия гена *ATP* (АТФ-синтетаза) у бактерий *L. plantarum* при добавлении фукоидана увеличилась в 9 раз в сравнении с контрольным образцом. Увеличение экспрессии гена АТФ-синтетазы свидетельствует об интенсификации катаболических процессов в бактериальных клетках (рисунок 5).

Экспрессия гена *ldh* (лактатдегидрогеназа) у бактерий *L. plantarum* с фукоиданом увеличилась в 2 раза в сравнении с контрольным образцом. Экспрессия гена с инулином уменьшилась в 18 раз по сравнению с контрольным образцом. Увеличение экспрессии этого гена является показателем того, что фукоидан оказывает благоприятное влияние на функционирование *L. plantarum* (рисунок 6).

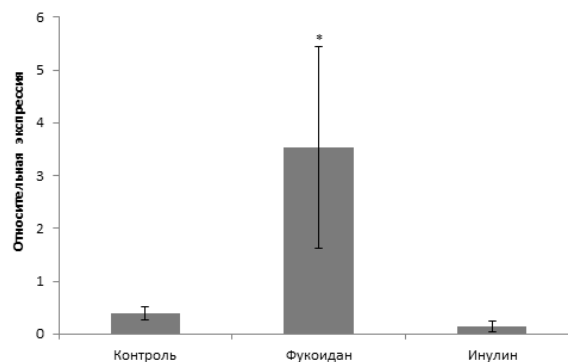


Рисунок 5. Экспрессия гена *ATP* при добавлении фукоидана и инулина в среду культивирования (* разница в экспрессии гена по сравнению с контролем статистически достоверна, $p < 0.01$)

Figure 5. Expression of the *ATP* gene upon the addition of fucoidan and inulin to the culture medium (* the difference in gene expression compared to the control is statistically significant, $p < 0.01$)

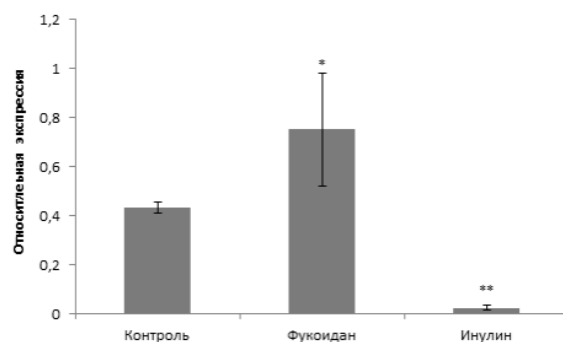


Рисунок 6. Экспрессия гена *ldh* при добавлении фукоидана и инулина в среду культивирования (* разница в экспрессии гена по сравнению с контролем статистически достоверна, $p < 0.05$, ** разница в экспрессии гена по сравнению с контролем статистически достоверна, $p < 0.001$)

Figure 6. Expression of the *ldh* gene upon the addition of fucoidan and inulin to the culture medium (* the difference in gene expression compared to the control is statistically significant, $p < 0.05$, ** the difference in gene expression compared to the control is statistically significant, $p < 0.001$)

Основная роль бактерий рода *Lactobacillus* заключается в производстве молочной кислоты. Это приводит к снижению pH, что необходимо для желаемого качества и сохранности пищевых и кормовых продуктов. Молочная кислота является конечным продуктом ферментации углеводов. Образование происходит с помощью лактатдегидрогеназы.

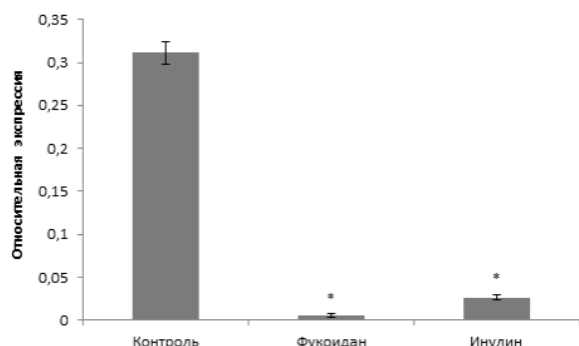


Рисунок 7. Экспрессия гена *gacT* при добавлении фукоидана и инулина в среду культивирования (* разница в экспрессии гена по сравнению с контролем статистически достоверна, $p < 0.001$)

Figure 7. Expression of the *gacT* gene upon the addition of fucoidan and inulin to the culture medium (* the difference in gene expression compared to the control is statistically significant, $p < 0.001$)

Экспрессия гена *gacT* (транспортёр аммиака) у бактерий *L. plantarum* при добавлении фукоидана уменьшилась в 58 раз в сравнении с контрольным образцом. Экспрессия гена при

добавлении инулина уменьшилась в 12 раз по сравнению с контрольным образцом (рисунок 7).

Этот ген экспрессируется при ограниченном количестве азота в среде. Это в свою очередь свидетельствует, что при добавлении фукоидана и инулина клеткам бактерий достаточно азота для жизнедеятельности.

Заключение

Было установлено, что наиболее стабильным референсным геном является *rpoD*. Исходя из данных по экспрессии генов, добавление фукоидана в среду культивирования активизировало катаболические процессы в бактериях (усиливалась экспрессия таких маркерных генов, как *usp*, *oruA*, *ATP*, *ldh*). Добавление инулина в среду культивирования не приводило к увеличению экспрессии генов катаболизма у *L. plantarum*.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках национального проекта «Наука» (проект FZGW-2020-0001, уникальный номер реестра государственных заданий 075001X39782002).

Литература

- 1 Ale M.T., Meyer A.S. Fucoidans from brown seaweeds: An update on structures, extraction techniques and use of enzymes as tools for structural elucidation // RSC Advances. 2013. V. 3. № 22. P. 8131–8141. doi: 10.1039/C3RA23373A
- 2 Citkowska A., Szekalska M., Winnicka K. Possibilities of fucoidan utilization in the development of pharmaceutical dosage forms // Marine Drugs. 2019. V.17. № 8. P. 458. doi: 10.3390/md17080458
- 3 Apostolova E., Lukova P., Baldzhieva A., Katsarov P. et al. Immunomodulatory and anti-inflammatory effects of fucoidan: A review // Polymers (Basel). 2020. V. 12. № 10. P. 2338. doi: 10.3390/polym12102338
- 4 Jun J.Y., Jung M.J., Jeong I.H., Yamazaki K. et al. Antimicrobial and antibiofilm activities of sulfated polysaccharides from marine algae against dental plaque bacteria // Marine Drugs. 2018. V. 16. № 9. P. 301. doi: 10.3390/md16090301
- 5 Lee K.Y., Jeong M.R., Choi S.M., Na S.S. et al. Synergistic effect of fucoidan with antibiotics against oral pathogenic bacteria // Archives of Oral Biology. 2013. V. 58. № 5. P. 482–92. doi: 10.1016/j.archoralbio.2012.11.002
- 6 Besednova N.N., Zaporozhets T.S., Somova L.M., Kuznetsova T.A. Review: prospects for the use of extracts and polysaccharides from marine algae to prevent and treat the diseases caused by *Helicobacter pylori* // Helicobacter. 2015. V. 20. № 2. P. 89–97. doi: 10.1111/hel.12177
- 7 Chen B.R., Li W.M., Li T.L., Chan Y.L. et al. Fucoidan from *Sargassum hemiphyllum* inhibits infection and inflammation of *Helicobacter pylori* // Scientific Reports. 2022. V. 12. № 1. P. 429. doi: 10.1038/s41598-021-04151-5
- 8 Luo J., Wang Z., Fan B., Wang L. et al. A comparative study of the effects of different fucoidans on cefoperazone-induced gut microbiota disturbance and intestinal inflammation // Food & Function. 2021. V. 12. № 19. P. 9087–9097. doi: 10.1039/d1fo00782c
- 9 Kawashima T., Murakami K., Nishimura I., Nakano T. et al. A sulfated polysaccharide, fucoidan, enhances the immunomodulatory effects of lactic acid bacteria // International Journal of Molecular Medicine. 2012. V. 29. № 3. P. 447–53. doi: 10.3892/ijmm.2011.854
- 10 Zhu Y., Liu L., Sun Z., Ji Y. et al. Fucoidan as a marine-origin prebiotic modulates the growth and antibacterial ability of *Lactobacillus rhamnosus* // International Journal of Biological Macromolecules. 2021. V. 180. P. 599–607. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2021.03.065
- 11 Roberfroid M.B. Introducing inulin-type fructans // British Journal of Nutrition. 2005. V. 93. № 1. P. S13–25. doi: 10.1079/bjn20041350
- 12 Guarino M.P.L., Altomare A., Emerenziani S., Di Rosa C. et al. Mechanisms of action of prebiotics and their effects on gastro-intestinal disorders in adults // Nutrients. 2020. V. 12. № 4. P. 1037. doi: 10.3390/nu12041037
- 13 Ramirez-Farias C., Slezak K., Fuller Z., Duncan A. et al. Effect of inulin on the human gut microbiota: stimulation of *Bifidobacterium adolescentis* and *Faecalibacterium prausnitzii* // British Journal of Nutrition. 2009. V. 101. № 4. P. 541–50. doi: 10.1017/S0007114508019880
- 14 Akram W., Garud N., Joshi R. Role of inulin as prebiotics on inflammatory bowel disease // Drug Discov Ther. 2019. V. 13. № 1. P. 1–8. doi: 10.5582/ddt.2019.01000
- 15 Guarner F. Studies with inulin-type fructans on intestinal infections, permeability, and inflammation // The Journal of Nutrition. 2007. V. 137. № 11. P. 2568S–2571S. doi: 10.1093/jn/137.11.2568S

- 16 Guo Y., Yu Y., Li H., Ding X. et al. Inulin supplementation ameliorates hyperuricemia and modulates gut microbiota in Uox-knockout mice // European Journal of Nutrition. 2021. V. 60. P. 2217–2230. doi: 10.1007/s00394-020-02414-x
- 17 Pérez-Monter C., Álvarez-Arce A., Nuño-Lambarri N., Escalona-Nández I. et al. Inulin improves diet-induced hepatic steatosis and increases intestinal *Akkermansia* genus level // International Journal of Molecular Sciences. 2022. V. 23. № 2. P. 991. doi: 10.3390/ijms23020991
- 18 Wu X., Huang X., Ma W., Li M. et al. Bioactive polysaccharides promote gut immunity via different ways // Food & Function. 2023. V. 14. № 3. P. 1387–1400. doi: 10.1039/d2fo03181g
- 19 Behera S.S., Ray R.C., Zdolet N. *Lactobacillus plantarum* with functional properties: an approach to increase safety and shelf-life of fermented foods // BioMed Research International. 2018. V. 2018. P. 9361614. doi: 10.1155/2018/9361614
- 20 Chen Y.M., Wei L., Chiu Y.S., Hsu Y.J. et al. *Lactobacillus plantarum* TWK10 supplementation improves exercise performance and increases muscle mass in mice // Nutrients. 2016. V. 8. № 4. P. 205. doi: 10.3390/nu8040205

References

- 1 Ale M.T., Meyer A.S. Fucoidans from brown seaweeds: An update on structures, extraction techniques and use of enzymes as tools for structural elucidation. RSC Advances, 2013. vol. 3. no. 22. pp. 8131–8141. doi: 10.1039/C3RA23373A
- 2 Citkowska A., Szekalska M., Winnicka K. Possibilities of fucoidan utilization in the development of pharmaceutical dosage forms. Marine Drugs, 2019. vol.17. no. 8. pp. 458. doi: 10.3390/md17080458
- 3 Apostolova E., Lukova P., Baldzhieva A., Katsarov P. et al. Immunomodulatory and anti-inflammatory effects of fucoidan: A review. Polymers (Basel), 2020. vol. 12. no. 10. pp. 2338. doi: 10.3390/polym12102338
- 4 Jun J.Y., Jung M.J., Jeong I.H., Yamazaki K. et al. Antimicrobial and antibiofilm activities of sulfated polysaccharides from marine algae against dental plaque bacteria. Marine Drugs, 2018. vol. 16. no. 9. pp. 301. doi: 10.3390/md16090301
- 5 Lee K.Y., Jeong M.R., Choi S.M., Na S.S. et al. Synergistic effect of fucoidan with antibiotics against oral pathogenic bacteria. Archives of Oral Biology, 2013. vol. 58. no. 5. pp. 482–92. doi: 10.1016/j.archoralbio.2012.11.002
- 6 Besednova N.N., Zaporozhets T.S., Somova L.M., Kuznetsova T.A. Review: prospects for the use of extracts and polysaccharides from marine algae to prevent and treat the diseases caused by *Helicobacter pylori*. Helicobacter, 2015. vol. 20. no. 2. pp. 89–97. doi: 10.1111/hel.12177
- 7 Chen B.R., Li W.M., Li T.L., Chan Y.L. et al. Fucoidan from *Sargassum hemiphyllum* inhibits infection and inflammation of *Helicobacter pylori*. Scientific Reports, 2022. vol. 12. no. 1. pp. 429. doi: 10.1038/s41598-021-04151-5
- 8 Luo J., Wang Z., Fan B., Wang L. et al. A comparative study of the effects of different fucoidans on cefoperazone-induced gut microbiota disturbance and intestinal inflammation. Food & Function, 2021. vol. 12. no. 19. pp. 9087–9097. doi: 10.1039/d1fo00782c
- 9 Kawashima T., Murakami K., Nishimura I., Nakano T. et al. A sulfated polysaccharide, fucoidan, enhances the immunomodulatory effects of lactic acid bacteria. International Journal of Molecular Medicine, 2012. vol. 29. № 3. pp. 447–53. doi: 10.3892/ijmm.2011.854
- 10 Zhu Y., Liu L., Sun Z., Ji Y. et al. Fucoidan as a marine-origin prebiotic modulates the growth and antibacterial ability of *Lactobacillus rhamnosus*. International Journal of Biological Macromolecules, 2021. vol. 180. pp. 599–607. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2021.03.065
- 11 Roberfroid M.B. Introducing inulin-type fructans. British Journal of Nutrition, 2005. vol. 93. no. 1. pp. S13–25. doi: 10.1079/bjn20041350
- 12 Guarino M.P.L., Altomare A., Emerenziani S., Di Rosa C. et al. Mechanisms of action of prebiotics and their effects on gastro-intestinal disorders in adults. Nutrients, 2020. vol. 12. no. 4. pp. 1037. doi: 10.3390/nu12041037
- 13 Ramirez-Farias C., Slezak K., Fuller Z., Duncan A. et al. Effect of inulin on the human gut microbiota: stimulation of *Bifidobacterium adolescentis* and *Faecalibacterium prausnitzii*. British Journal of Nutrition, 2009. vol. 101. no. 4. pp. 541–50. doi: 10.1017/S0007114508019880
- 14 Akram W., Garud N., Joshi R. Role of inulin as prebiotics on inflammatory bowel disease. Drug Discov Ther, 2019. vol. 13. no. 1. pp. 1–8. doi: 10.5582/ddt.2019.01000
- 15 Guarner F. Studies with inulin-type fructans on intestinal infections, permeability, and inflammation. The Journal of Nutrition, 2007. vol. 137. no. 11. pp. 2568S–2571S. doi: 10.1093/jn/137.11.2568S
- 16 Guo Y., Yu Y., Li H., Ding X. et al. Inulin supplementation ameliorates hyperuricemia and modulates gut microbiota in Uox-knockout mice. European Journal of Nutrition, 2021. vol. 60. pp. 2217–2230. doi: 10.1007/s00394-020-02414-x
- 17 Pérez-Monter C., Álvarez-Arce A., Nuño-Lambarri N., Escalona-Nández I. et al. Inulin improves diet-induced hepatic steatosis and increases intestinal *Akkermansia* genus level. International Journal of Molecular Sciences, 2022. vol. 23. no. 2. pp. 991. doi: 10.3390/ijms23020991
- 18 Wu X., Huang X., Ma W., Li M. et al. Bioactive polysaccharides promote gut immunity via different ways. Food & Function, 2023. vol. 14. no. 3. pp. 1387–1400. doi: 10.1039/d2fo03181g
- 19 Behera S.S., Ray R.C., Zdolet N. *Lactobacillus plantarum* with functional properties: an approach to increase safety and shelf-life of fermented foods. BioMed Research International, 2018. vol. 2018. pp. 9361614. doi: 10.1155/2018/9361614
- 20 Chen Y.M., Wei L., Chiu Y.S., Hsu Y.J. et al. *Lactobacillus plantarum* TWK10 supplementation improves exercise performance and increases muscle mass in mice. Nutrients, 2016. vol. 8. no. 4. pp. 205. doi: 10.3390/nu8040205

Сведения об авторах

Михаил Ю. Сыромятников к.б.н., ведущий научный сотрудник, лаборатория метагеномики и пищевых биотехнологий, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, mihan.vrn@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-9028-0613>

Екатерина Ю. Нестерова младший научный сотрудник, лаборатория метагеномики и пищевых биотехнологий, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, katty.nesterova.1997@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0918-3547>

Мария И. Гладких младший научный сотрудник, лаборатория метагеномики и пищевых биотехнологий, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, mariya221095@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1173-1565>

Анна А. Толкачева младший научный сотрудник, лаборатория метагеномики и пищевых биотехнологий, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, anna-biotech@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0725-6482>

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

<https://orcid.org/0000-0002-7051-9858>

Василий Н. Попов д.б.н., ректор, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, vnp@bio.vsu.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1294-8686>

Вклад авторов

Михаил Ю. Сыромятников написал рукопись, редактировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Екатерина Ю. Нестерова обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты

Мария И. Гладких обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты

Анна А. Толкачева консультация в ходе исследования

Ольга В. Бондарева консультация в ходе исследования

Василий Н. Попов предложил методику проведения эксперимента

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Mikhail Yu. Syromyatnikov Cand. Sci. (Engin.), senior researcher, laboratory of metagenomics and food biotechnology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, mihan.vrn@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-9028-0613>

Ekaterina Yu. Nesterova junior researcher, laboratory of metagenomics and food biotechnology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, katty.nesterova.1997@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0918-3547>

Maria I. Gladkikh junior researcher, laboratory of metagenomics and food biotechnology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, mariya221095@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1173-1565>

Anna A. Tolkacheva junior researcher, laboratory of metagenomics and food biotechnology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, anna-biotech@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0725-6482>

Olga V. Bondareva junior researcher, laboratory of metagenomics and food biotechnology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, bond.vrn15@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7051-9858>

Vasily N. Popov Dr. Sci. (Biol.), rector, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, vnp@bio.vsu.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1294-8686>

Contribution

Mikhail Yu. Syromyatnikov wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Ekaterina Yu. Nesterova review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Maria I. Gladkikh review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Anna A. Tolkacheva consultation during the study

Olga V. Bondareva consultation during the study

Vasily N. Popov proposed a scheme of the experiment and organized production trials

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 01/03/2023	После редакции 24/03/2023	Принята в печать 18/04/2023
Received 01/03/2023	Accepted in revised 24/03/2023	Accepted 18/04/2023

Инновационные перспективы создания биологически активных комплексов на основе полисахаридной матрицы

Виктор Г. Шелепов	¹	vshelepov@ya.ru
Бадарч Бямбаа	²	agri_science@myls.edu.mn
Нина Г. Челнакова	³	
Валерий М. Позняковский	⁴	pvm1947@bk.ru

¹ Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН

² Монгольская академия аграрных наук, 11-ый Хороо, Зайсан, Хан-уул район, г. Улан-Батор, 17024, Монголия

³ Артлайф, ул. Нахимова, 8/2г. Томск, 634034, Россия

⁴ Кемеровский государственный медицинский университет, ул. Ворошилова 22А, г. Кемерово, 650021, Россия

Аннотация. Рассматривается возможность соединения сложнорастворимых полисахаридов арабиногалактана с полисахаридами хитозана для повышения всасываемости биологически активных веществ и соединений, характеризующихся низкой биодоступностью. Входящие в состав биологически активной биополимерной матрицы сукцинат хитозана, янтарный ангидрид, арабиногалактан и дигидрокверцетин соответственно в количествах, мас. %: 3–5,0; 2,0–4,0; 15,0–20,0 и 3,5 могут служить целенаправленным носителем для доставки диагностических и терапевтических агентов, в том числе ферментов, нуклеиновых кислот, витаминов, гормонов и др. к определенным клеткам, в частности, гепатоцитам (паренхимным клеткам печени). Установлена высокая мембранотропность арабиногалактана, выделенного из ливерницы, что позволяет его использовать для повышения всасываемости в желудочно-кишечном тракте других функционально-активных ингредиентов с низкой биодоступностью. Механизм такого действия связан с образованием связующего комплекса между арабиногалактаном и доставляемым агентом, обладающим способностью взаимодействовать с асialogликопротеиновым рецептором клетки. Выполнены исследования по возможности соединения полисахаридов арабиногалактана с полисахаридами хитозана с получением биополимерной матрицы, которая включает сукцинат хитозана, янтарный ангидрид и арабиногалактан, содержащий ковалентно не связанный с ним дигидрокверцетин. Наряду с вышеуказанными свойствами показана эффективность применения арабиногалактана на примере его применения для улучшения технологических и функциональных характеристик мяса цыплят-бройлеров с признаками PSE. Добавление арабиногалактана в рецептурный состав фарша при производстве колбас, в количестве 0,5% от основного сырья, повышало влагосвязывающую способность на 5% при снижении потерь при тепловой обработке на 6%. Отмечено улучшение перекисного и кислотного чисел при хранении, что обеспечивает ингибирование окислительных процессов и предотвращает порчу готовой продукции.

Ключевые слова: арабиногалактан, сукцинат хитозана, биоконкомплекс, биологически активные соединения, полисахариды

Innovative prospects for the creation of biologically active complexes based on a polysaccharide matrix

Victor G. Shelepov	¹	vshelepov@ya.ru
Badarch Byambaa	²	agri_science@myls.edu.mn
Nina G. Chelnakova	³	
Valery M. Pozniakovsky	⁴	pvm1947@bk.ru

¹ Siberian Federal Research Center for Agrobiotechnology RAS, Tsentralnaya St., Presidium, Krasnobl settlement, 633501, Russia,

² Mongolian Academy of Agrarian Sciences, 11th Khoroo, Zaisan, Khan Uul District, Ulaanbaatar, 17024, Mongolia

³ Artlife, st. Nakhimova, 8/2g. Tomsk, 634034, Russia

⁴ Kemerovo State Medical University, 22A Voroshilova St., Kemerovo, 650021, Russia

Abstract. The possibility of combining complexly soluble arabinogalactan polysaccharides with chitosan polysaccharides to increase the absorption of biologically active substances and compounds characterized by low bioavailability is being considered. Included in the biologically active biopolymer matrix are chitosan succinate, succinic anhydride, arabinogalactan and dihydroquercetin, respectively, in quantities, wt. %: 3–5.0; 2.0–4.0; 15.0–20.0 and 3.5 can serve as a targeted carrier for the delivery of diagnostic and therapeutic agents, including enzymes, nucleic acids, vitamins, hormones, etc. to certain cells, in particular, hepatocytes (liver parenchyma cells). The high membranotropic properties of arabinogalactan isolated from larch have been established, which allows its use to increase the absorption in the gastrointestinal tract of other functionally active ingredients with low bioavailability. The mechanism of this action is associated with the formation of a binding complex between arabinogalactan and the delivered agent, which has the ability to interact with the asialoglycoprotein cell receptor. Studies have been carried out on the possibility of combining arabinogalactan polysaccharides with chitosan polysaccharides to obtain a biopolymer matrix, which includes chitosan succinate, succinic anhydride and arabinogalactan containing dihydroquercetin not covalently bound to it. Along with the above properties, the effectiveness of using arabinogalactan is shown using the example of its use to improve the technological and functional characteristics of broiler chicken meat with PSE traits. The addition of arabinogalactan to the recipe composition of minced meat during the production of sausages, in an amount of 0.5% of the main raw material, increased the moisture-binding capacity by 5% while reducing losses during heat treatment by 6%. There was an improvement in peroxide and acid numbers during storage, which ensures inhibition of oxidative processes and prevents spoilage of finished products.

Keywords: arabinogalactan, chitosan succinate, biocomplex, biologically active compounds, polysaccharides

Для цитирования

Шелепов В.Г., Бямбаа Б., Челнакова Н.Г., Позняковский В.М. Инновационные перспективы создания биологически активных комплексов на основе полисахаридной матрицы // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 2. С. 151–155. doi:10.20914/2310-1202-2023-2-151-155

For citation

Shelepov V.G., Byambaa B., Chelnakova N.G., Pozniakovsky V.M. Innovative prospects for the creation of biologically active complexes based on a polysaccharide matrix. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 2. pp. 151–155. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-2-151-155

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

Введение

Многолетние исследования полисахаридов высших растений, проводимые в нашей стране и за рубежом, свидетельствуют о возможности их широкого применения в производстве специализированных продуктов, в т. ч. и БАД [2, 3]. Это связано с функциональными свойствами представителей галактансодержащих полисахаридов – иммуномодулирующими, активирующими ретикулоэндотелиальную систему (РЭС) с увеличением фагоцитарного индекса. Их биологическая активность зависит от особенностей структуры и конформации макромолекул, механизма образования агрегатов. Немаловажное значение имеет локализация полисахарида в растительной клетке [1].

Цель работы – биополимерной матрицы на основе сукцината хитозана, арабиногалактана и изучение их функциональных свойств.

Материалы и методы

Для выявления фазовых и структурных превращений применяли рентгенофазовый (РФА) и термический анализ – дифференциальную сканирующую калориметрию (ДСК). Для получения микрофотографий исследуемых образцов использовали метод сканирующий электронный микроскопии.

Концентрацию исследуемых веществ в водных растворах определяли методом ВЭЖХ на хроматографах Agilent 1200 и Милихром А-02.

Для идентификации опытного образца АГ на спектрометре записаны ИК-спектры.

Исследование комплексообразования в растворах проводилось путем измерения увеличения растворимости БАВ, а также методом измерения времен релаксации¹ ^1H ЯМР в водных и водно-спиртовых растворах.

Молекулярно-массовое распределение (ММР) образцов исследовали методом гелепроникающей хроматографии (ГПХ).

Результаты и обсуждение

Разработана биологически активная добавка добавка – арабиногалактан (АГ), выделенный из лиственницы. Новизна и оригинальность препарата подтверждены выдачей патента [7].

Показано [3–6], что АГ из западной лиственницы может служить целенаправленным носителем для доставки диагностических и терапевтических агентов, а также ферментов, нуклеиновых кислот, витаминов или гормонов, к определенным клеткам, в частности, гепатоцитам – паренхимным клеткам печени. В модельных экспериментах АГ из лиственницы показал высокую мембранотропность [7]. Благодаря этому его можно использовать для повышения

всасываемости других биологически активных ингредиентов, характеризующихся низкой биодоступностью [2, 5, 7]. При этом образуется комплекс между доставляемым агентом и арабиногалактаном, способным взаимодействовать с асиалогликопротеиновым рецептором клетки. Причина взаимодействия арабиногалактана с рецепторами может заключаться в высокой разветвленности структуры макромолекул АГ и наличии многочисленных концевых галактозных и арабинозных групп [1]. Конъюгаты АГ и продуктов его деградации с различными лекарственными средствами могут найти разнообразное применение [9–15].

Арабиногалактан является перспективным синтоном, способным вступать в реакции с моно- и бифункциональными реагентами. Это открывает путь к получению новых промышленно доступных водорастворимых препаратов. Их свойства будут определяться как свойствами самого полисахарида, так и введенных функциональных групп. Продукты химического модифицирования АГ представляют значительный интерес для различных отраслей промышленности. Имеются данные о том, что химическое модифицирование АГ вызывает заметное падение или исчезновение биоактивности полимеров [16, 17]. Таким образом, работы по модификации арабиногалактанов показывают перспективность этого направления.

Проведены исследования по соединению полисахаридов арабиногалактана с полисахаридами хитозана.

Особенность строения макромолекул АГ может способствовать образованию прочных межмолекулярных комплексов действующих веществ, молекулы которых могут связываться межмолекулярными водородными связями в пространстве, образованном боковыми цепями. Учитывая конформационную подвижность макромолекул АГ, размеры этого пространства могут варьироваться, способствуя образованию супрамолекулярных комплексов с широким кругом веществ [5].

Хитозан хороший гелеобразователь и эмульгатор. Доказана его способность образовывать комплексные соединения с протеинами и липидами. Наличие гидроксильных групп высокой электронной плотности с неподеленными электронными парами вдоль молекулы приводит к образованию водородных связей с другими биополимерными соединениями, в первую очередь формируются прочные комплексы с липидами и белками, в которых хитозан выполняет роль ядра [6].

Благодаря позитивно заряженным молекулам и свойствам сорбента хитозан крепко

связывается с негативно заряженными молекулами, расположенными на мембранах микробов (теиховые кислоты, фосфорнокислые и карбоксильные группы). Фиксация мембран парализует их работу, особенно транспорт ионов, полезных веществ, что ведет к усилению чувствительности возбудителей заболеваний к различным антибактериальным веществам. Полезные и важные особенности хитозана заключаются также в том, что он соединяется с любой живой тканью, обладает мукоадгезивными свойствами, разлагается и открывает плотные сочленения между клетками. С помощью использования этих свойств доставка лекарственного средства через слизистую мембрану может быть существенно улучшена [18].

Протонированный хитозан в организме распадается при помощи лизоцима, превращаясь в глюкозамин и сопряженное основание кислоты – сукцинат. Сукцинат хитозана представляет собой соль деацетилизованного хитина и янтарной кислоты. Сукцинат хитозана гипоаллергенен, биосовместим, биоразлагаем. Благодаря деацетилированию хитозан приобретает два важных свойства, обуславливающих особенности и сферу его использования.

Сукцинат хитозана хорошо растворим в воде, его деацетилированные и замещенные группы при значениях $\text{pH} < 7$ приобретают положительный заряд, т. е. хитозановый гель представляет собой поликатион, который связывается с отрицательно заряженными молекулами.

Производство биополимерной матрицы основано на механохимической активации двух полисахаридов: растительного (арабиногалактан) и хитинового (сукцинат хитозана).

Метод механохимической активации позволяет проводить измельчение твердых тел до молекулярного уровня. В результате измельченные частички образуют агрегаты, а при продолжении механической активации происходит смешивание твердых веществ на молекулярном уровне. В зависимости от природы веществ происходят химические реакции с образованием твердой фазы, в которой молекулы вступают в различного рода взаимодействия. При тепловом воздействии или гидратации происходит химическая реакция с образованием целевых продуктов.

Процесс получения полисахаридной матрицы осуществляется в два этапа.

На первом получен сукцинат хитозана – деацетилированием хитина, имеющего степень деацетилирования больше или равную 75% и молекулярную массу в диапазоне от 1 до 30 кДа, механохимическим способом его сшивали янтарным ангидридом. В результате механической активации происходит количественное

ацилирование всех аминогрупп хитозана, что подтверждается кондуктометрическим титрованием. Следует отметить, что сам принцип проведения реакции в твердофазовом состоянии не требует растворения ангидридов дикарбоновых кислот в органическом растворителе.

На втором этапе для модификации арабиногалактана, полученный механическим способом сукцинат хитозана соединяли на молекулярном уровне с арабиногалактаном. Механохимическую обработку исходных компонентов проводили в ротационной (валковой) мельнице ВМ-1 с барабаном, имеющим фторопластовую футеровку. Полученный мелкодисперсный порошок растворяли в воде, нейтрализацию смеси проводили водным щелочным раствором и сушили методом распылительной или вакуумной сушки [7].

Полимерная матрица приобретает пластичную структуру частиц хитозана, отличающуюся тем, что имеет вид поперечно сшитого сетчатого полимера с множеством сферических полостей, имеющих размер не менее 1,0 нм и не более 5000,0 нм.

Предлагаемый состав биополимерной матрицы включает сукцинат хитозана, янтарный ангидрид и арабиногалактан, содержащий ковалентно не связанный с ним дигидрокверцетин.

Комплексообразующая способность супрамолекулярной композиции, состоящей из сукцината хитозана, янтарно ангидрида и арабиногалактана, изучена методом оптической спектроскопии с целью оценки степени увеличения растворимости гидрофобных лекарственных соединений в воде.

Для исследования взяты два соединения, карведилол и зеаксантин, обладающие низкой растворимостью в воде.

Зеаксантин – один из распространенных антиоксидантов и пигментов каротиноидной группы. Является одним из двух каротиноидов, которые содержатся в сетчатке глаза (зона макулы). Как антиоксидант, он способен нейтрализовать свободные радикалы, которые окисляют и повреждают сетчатку. Эти свойства зеаксантина предотвращают развитие катаракты, служат профилактикой возрастной макулярной дегенерации. Одним из основных ограничений применения зеаксантина в фармакологии и пищевой промышленности является его незначительная растворимость в воде.

Обнаружено, что комплексообразование более чем в 1000 раз повышает растворимость зеаксантина в воде. Измеренная нами концентрация комплекса зеаксантин – БПМ 1:10 составила 40 микромолей или 22 мг/л. Установленная величина повышения растворимости (1000 раз) является нижней оценкой, поскольку его

собственная растворимость ниже предела чувствительности прибора.

Карведилол – антиангинальное, антиоксидантное, гипотензивное, вазодилатирующее лекарственное средство. Слабо растворим в воде. Биодоступность около 25%.

Обнаружено, что комплексобразование с полимерной матрицей повышает растворимость карведилола в воде в 40 раз. Измеренная концентрация комплекса карведилол-БПМ 1:10 составила 50 микромолей или 20 мг/л. Абсолютное значение растворимости рассчитано из измеренного коэффициента экстинкции карведилола при длине волны 332 нм равного 4760 л моль⁻¹ см⁻¹.

Показана эффективность использования АГ для улучшения технологических и функциональных свойств мяса цыплят-бройлеров с признаками PSE путем включения пищевой добавки в рецептуру колбасных изделий в количестве 0,5% от основного сырья. Установлено повышение влагосвязывающей способности фарша на 5%, потери при тепловой обработке снизились на 6%.

Улучшились консистенция и цвет колбас с повышением балльной оценки на 4%. Установлено снижение перексидного и кислотного чисел при хранении, что свидетельствует об ингибировании процессов окисления и предотвращении порчи продукта.

Заключение

Проведенные исследования послужили еще одним доказательством, что полисахаридная матрица обладает высокой биологической активностью как самостоятельно, так и в комплексе с другими веществами. Разработанная биологически активная биополимерная матрица, включающая, мас. %: сукцинат хитозана 3,0–5,0; янтарный ангидрид 2,0–4,0; арабиногалактан 15,0–20,0 и дигирокверцетин 3–5 может служить носителем для широкого спектра биологически активных веществ (витаминов, минералов, аминокислот) и иметь достаточную область применения в пищевой и перерабатывающей промышленности.

Литература

- 1 Антонова Г.Ф., Тюкавкина Н.А. Получение высокочистого арабиногалактана из древесины лиственницы // *Химия древесины*. 1976. № 4. С. 60–62.
- 2 Арифходжаев А.О. Галактаны и галактансодержащие полисахариды высших растений // *Химия природных соединений*. 2000. № 3. С. 185–197.
- 3 Бабкин В.А., Остроухова Л.А., Малков Ю.А., Иванова С.З. и др. Биологически активные вещества из древесины лиственницы // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2001. Т. 9, № 3. С. 363–367.
- 4 Гришин А.А. Хитин и хитозан: Химия, биологическая активность, применение // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2014. Т.6. № 1. С. 29–34.
- 5 Оводов Ю.С. Полисахариды цветковых растений: структура и физиологическая активность // *Биоорганическая химия*. 1998. Т. 24. № 7. С. 483–501.
- 6 Васюкова А.Т., Славянский А.А., Хайрулин М.Ф., Алексеев А.Е., Мошкин А.В. и др. Продукты с растительными добавками для здорового питания // *Пищевая промышленность*. 2019. №. 12. С. 72–75.
- 7 Фазилова С.А., Югай С.М., Рашидова С.Ш. Структурные исследования полисахаридов и наноконпозиций на их основе // *Химия растительного сырья*. 2010. № 1. С. 13–19.
- 8 Пат. № 2698455, RU, A61K 31/352, 31/715, 47/36, 47/12, 9/00. Биополимерная матрица на основе сукцината хитозана, арабиногалактана и способ её получения / Шелепов В.Г., Углов В.А., Душкин А.В., Сунцова Л.П. и др. № 2018141734; Заявл. 26.11.2018; Оpubл. 27.08.2019.
- 9 Макеева И., Пряничникова Н.С., Богатырев А.Н. Научные походы к выбору нетрадиционных ингредиентов для создания функциональных продуктов животного происхождения, в том числе органических // *Пищевая промышленность*. 2016. №. 3. С. 34–37.
- 10 Assam T., Eliyahu H., Shapira L., Linial M. et al. Polysaccharide-oligoamine based conjugates for gene delivery // *Journal Med. Chem.* 2002. V. 45. №. 9. P. 1817–1824.
- 11 Chintalwar G., Jain A., Sipahimalani A., Banerji A. et al. An immunologically active arabinogalactan from *Tinospora cordifolia* // *Phytochemistry*. 1999. V. 52. №. 6. P.1089–1093.
- 12 Pat. № 6406686, US, A61K8/463. Conditioning shampoo containing arabinogalactan / Chun Ho-Ming. Appl. 21.03.2000; Publ. 18.06. 2002.
- 13 Silva B.P., Parente J.P. Chemical properties and biological activity of a polysaccharide from *Melocactus depressus* // *Planta Medica*. 2002. V. 68. №. 1. P. 74–76.
- 14 Pat. № 3509126, US, C08B37/006. Recovery of high-purity arabinogalactan from larch / Dahl K. Appl. 07.09.1967; Publ. 28.04.1970.
- 15 Clarcke A.E., Anderson R.L., Stone B.A. Form and function of arabinogalactans and arabinogalactan-proteins // *Phytochemistry*. 1979. V. 18. P.521–540.
- 16 Da Silva B.P., Parente J.P. Chemical properties and biological activity of a polysaccharide from *Melocactus depressus* // *Planta Medica*. 2002. V. 68. №. 1. P. 74–76.
- 17 Grieshop C.M., Flickinger E.A., Fahey G.C. Oral administration of arabinogalactan affects immune status and fecal microbial populations in dogs // *Journal of Nutrition*. 2002. V. 132. №. 3. P.478–482.
- 18 Groman E.V., Enriquez P.M., Jung Chu, Josephson L. Arabinogalactan for hepatic drug delivery // *Bioconjugate Chem.* 1994. № 5. P. 547–556.
- 19 Sajjad A. Chitosan as a Flocculant: An Approach to Improve its Solubility for Efficient Harvesting of Microalgae // *Korean Chemical Engineering Research*. 2017. V. 55. №. 4. P. 530–534.
- 20 Тихомирова Н.А. Продукты функционального питания // *Молочная промышленность*. 2013. №. 6. С. 46–49.

References

- 1 Antonova G.F., Tyukavkina N.A. Preparation of high-purity arabinogalactan from larch wood. Chemistry of wood. 1976. no. 4. pp. 60–62. (in Russian).
- 2 Arifkhodzhaev A.O. Galactans and galactan-containing polysaccharides of higher plants. Chemistry of natural compounds. 2000. no. 3. pp. 185–197. (in Russian).
- 3 Babkin V.A., Ostroukhova L.A., Malkov Yu.A., Ivanova S.Z. et al. Biologically active substances from larch wood. Chemistry for sustainable development. 2001. vol. 9. no. 3. pp. 363–367. (in Russian).
- 4 Grishin A.A. Chitin and chitosan: Chemistry, biological activity, application. News of universities. Applied chemistry and biotechnology. 2014. vol. 6. no. 1. pp. 29–34. (in Russian).
- 5 Ovodov Yu.S. Polysaccharides of flowering plants: structure and physiological activity. Bioorganic chemistry. 1998. vol. 24. no. 7. pp. 483–501. (in Russian).
- 6 Vasyukova A.T., Slavyansky A.A., Khairulin M.F., Alekseev A.E., Moshkin A.V. et al. Products with herbal additives for a healthy diet. Food industry. 2019. no. 12. pp. 72–75. (in Russian).
- 7 Fazilova S.A., Yugai S.M., Rashidova S.Sh. Structural studies of polysaccharides and nanocompositions based on them. Chemistry of plant raw materials. 2010. no. 1. pp. 13–19. (in Russian).
- 8 Shelepov V.G., Uglov V.A., Dushkin A.V., Suntsova L.P. et al. Biopolymein matrix based on chitosan succinate, arabinogalactan and method of its preparation. Patent RF, no. 2698455, 2019.
- 9 Makeeva I., Pryanichnikova N.S., Bogatyrev A.N. Scientific approaches to the selection of non-traditional ingredients for the creation of functional products of animal origin, including organic ones. Food industry. 2016. no. 3. pp. 34–37. (in Russian).
- 10 Assam T., Eliyahu H., Shapira L., Linial M. et al. Polysaccharide-oligoamine based conjugates for gene delivery. Journal Med. Chem. 2002. vol. 45. no. 9. pp. 1817–1824.
- 11 Chintalwar G., Jain A., Sipahimalani A., Banerji A. et al. An immunologically active arabinogalactan from *Tinospora cordifolia*. Phytochemistry. 1999. vol. 52. no. 6. pp. 1089–1093.
- 12 Chun Ho-Ming. Conditioning shampoo containing arabinogalactan. Patent US, no. 6406686, 2002.
- 13 Silva B.P., Parente J.P. Chemical properties and biological activity of a polysaccharide from *Melocactus depressus*. Planta Medica. 2002. vol. 68. no. 1. pp. 74–76.
- 14 Dahl K. Recovery of high-purity arabinogalactan from larch. Patent US, no. 3509126, 1970.
- 15 Clarke A.E., Anderson R.L., Stone B.A. Form and function of arabinogalactans and arabinogalactan-proteins. Phytochemistry. 1979. vol. 18. pp. 521–540.
- 16 Da Silva B.P., Parente J.P. Chemical properties and biological activity of a polysaccharide from *Melocactus depressus*. Planta Medica. 2002. vol. 68. no. 1. pp. 74–76.
- 17 Grieshop C.M., Flickinger E.A., Fahey G.C. Oral administration of arabinogalactan affects immune status and fecal microbial populations in dogs. Journal of Nutrition. 2002. vol. 132. no. 3. pp. 478–482.
- 18 Groman E.V., Enriquez P.M., Jung Chu, Josephson L. Arabinogalactan for hepatic drug delivery. Bioconjugate Chem. 1994. no. 5. pp. 547–556.
- 19 Sajjad A. Chitosan as a Flocculant: An Approach to Improve its Solubility for Efficient Harvesting of Microalgae. Korean Chemical Engineering Research. 2017. vol. 55. no. 4. pp. 530–534.
- 20 Tikhomirova N.A. Functional food products. Dairy industry. 2013. no. 6. pp. 46–49. (in Russian).

Сведения об авторах

Виктор Г. Шелепов член-корреспондент РАН, д.с.-х.н., профессор, главный научный сотрудник, лаборатория продуктов функционального питания, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, ул. Центральная, Президиум, п. Краснообск, 633501, Россия, vshelepov@ya.ru
https://orcid.org/введите_здесь_orcid

Бадарч Бямбаа д.вет.н., президент, Монгольская академия аграрных наук, 11-ый Хороо, Зайсан, Хан-уул район, г. Улан-Батор, 17024, Монголия, agri_science@myls.edu.mn

Нина Г. Челнакова д.т.н., профессор биологии и медицины Оксфордского университета (г. Оксфорд, Англия), директор центра содействия здоровью компании «АртЛайф» (г. Томск)

Валерий М. Позняковский заслуженный деятель наук РФ, д.б.н., профессор, руководитель научно-образовательного центра «Прикладная биотехнология и нутрициология», профессор кафедры гигиены, Кемеровский государственный медицинский университет, ул. Ворошилова 22А, г. Кемерово, 650021, Россия, pvm1947@bk.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

Victor G. Shelepov corresponding member of RAS, Dr. Sci. (Agric.), professor, chief researcher, laboratory of functional nutrition products, Siberian Federal Research Center for Agrobiotechnology RAS, Tsentralnaya St., Presidium, Krasnobsk settlement, 633501, Russia, vshelepov@ya.ru
https://orcid.org/введите_здесь_orcid

Badarch Byambaa Dr. Sci. (Vet.), president, Mongolian Academy of Agrarian Sciences, 11th Khoroo, Zaisan, Khan Uul District, Ulaanbaatar, 17024, Mongolia, agri_science@myls.edu.mn

Nina G. Chelnakova Dr. Sci. (Tech.), professor of Biology and Medicine at Oxford University (Oxford, England), Director of the ArtLife Health Promotion Center (Tomsk)

Valery M. Pozniakovsky Honored Worker of Sciences of the Russian Federation, Dr. Sci. (Biol.), professor, hygiene department, Kemerovo State Medical University, 22A Voroshilova St., Kemerovo, 650021, Russia, pvm1947@bk.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 04/04/2023	После редакции 24/04/2023	Принята в печать 25/05/2023
Received 04/04/2023	Accepted in revised 24/04/2023	Accepted 25/05/2023

Иммуномодулирующий поливитаминовый комплекс и его роль в антиоксидантной защите организма

Ольга Г. Позднякова	^{1,4}	79502628552@ya.ru	 0000-0001-7599-0676
Ирина Ю. Сергеева	²	tpprs@kemsu.ru	 0000-0002-1686-0131
Мария А. Казакова	¹	mariya_Kazakova.com@mail.ru	 0000-0002-1141-4167
Екатерина В. Назимова	²	tpprs@kemsu.ru	 0000-0002-1063-0677
Валерий М. Позняковский	^{1,3}	pvm1947@bk.ru	 0000-0001-7034-4675

1 Кузбасский государственный аграрный университет имени В.Н. Полежкова, ул. Марковцева, 5, г. Кемерово, 650056, Россия

2 Кемеровский государственный университет, бульвар Строителей, 47, г. Кемерово, 650056, Россия

3 Кемеровский государственный медицинский университет, ул. Ворошилова, 22 А, Кемерово, 650056, Россия

4 Центр опережающей профессиональной подготовки Кузбасса, ул. Павленко, 1 А, Кемерово, 650021, Россия

Аннотация. В статье представлены результаты экспериментальных данных по разработке иммуномодулирующего поливитаминового комплекса и установление его роли в антиоксидантной защите организма. В качестве объектов исследования служили рецептурные ингредиенты, лабораторные и промышленные образцы разработанного продукта. Применяли общепринятые и специальные методы оценки качества и безопасности разработанного продукта. Технология включает: подготовку сырья, приготвление смеси для капсулирования, капсулирование и запайка капсул желатином, оценка качества полученного продукта. Приведен состав новой поливитаминовой композиции с направленными антиоксидантными свойствами, мг/1 капсулу: красное пальмовое масло – 432; аскорбиновая кислота – 70; аскорбил пальмитат – 10; токоферол ацетат, 98 % – 15,3 (витамин Е – 15); бета-каротин, 98 % – 5,1 (бета – каротин – 0,5); диоксид кремния (носитель) – 17,6; капсула желатиновая – 110. Общая масса 660 мг. Проведена оценка функциональных свойств разработанного продукта. Компоненты разработанного продукта в виде поливитаминового комплекса оказали положительное влияние на анализируемые показатели теста SF-36. Согласно результатам теста общее состояние здоровья в группе добровольцев после приема поливитаминового комплекса увеличилось на 17,2% в то время как у контрольной группы всего на 9,5%, по показателю жизнеспособность на 7,2 и 3,6 % в опытной и контрольной группе соответственно. Инновационность нового препарата заключается в отказе от инертных материалов и использовании в качестве носителя уникального по своему составу красного пальмового масла, богатого, наряду с жирорастворимыми витаминами, высоко активными антиоксидантами – ликопином и коферментом Q₁₀. Предложен способ капсулирования в защитную желатиновую капсулу. Это обеспечивает быстрое действие – водорастворимой и пролонгированный эффект – жирорастворимой фракции.

Ключевые слова: поливитаминовый комплекс, антиоксидантные свойства, иммунитет, респираторные инфекции, функциональные свойства

Immunomodulating multivitamin complex and its role in antioxidant protection of the body

Olga G. Pozdnyakova	^{1,4}	79502628552@ya.ru	 0000-0001-7599-0676
Irina Yu. Sergeyeva	²	tpprs@kemsu.ru	 0000-0002-1686-0131
Maria A. Kazakova	¹	mariya_Kazakova.com@mail.ru	 0000-0002-1141-4167
Ekaterina V. Nazimova	²	tpprs@kemsu.ru	 0000-0002-1063-0677
Valery M. Poznyakovsky	^{1,3}	pvm1947@bk.ru	 0000-0001-7034-4675

1 Kuzbass State Agrarian University named after V.N. Poletskov, Markovtseva St.5, 650056, Kemerovo, Russia

2 Kemerovo State University, Stroiteley Boulevard, 47, 650056, Kemerovo, Russia

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

4 Center for advanced professional training of Kuzbass, st. Pavlenko, 1 A, Kemerovo, 650021, Russia

Abstract. The article presents the results of experimental data on the development of an immunomodulatory multivitamin complex and the establishment of its role in the antioxidant defense of the body. The research objects were recipe ingredients, laboratory and industrial samples of the developed product. We used generally accepted and special methods for assessing the quality and safety of the developed product. The technology includes: preparation of raw materials, preparation of a mixture for encapsulation, encapsulation and sealing of capsules with gelatin, assessment of the quality of the resulting product. The composition of a new multivitamin composition with targeted antioxidant properties is given, mg / 1 capsule: red palm oil - 432; ascorbic acid - 70; ascorbate palmitate - 10; tocopherol acetate, 98% - 15.3 (vitamin E - 15); beta-carotene, 98% - 5.1 (beta - carotene - 0.5); silicon dioxide (carrier) - 17.6; gelatin capsule - 110. Total weight 660 mg. The functional properties of the developed product were assessed. The components of the developed product in the form of a multivitamin complex had a positive effect on the analyzed parameters of the SF-36 test. According to the test results, the general state of health in the group of volunteers after taking the multivitamin complex increased by 17.2%, while in the control group by only 9.5%, in terms of viability by 7.2 and 3.6% in the experimental and control groups respectively. The innovativeness of the new drug lies in the rejection of inert materials and the use as a carrier of a unique composition of red palm oil, rich, along with fat-soluble vitamins, highly active antioxidants - lycopene and coenzyme Q₁₀. The proposed method of encapsulation in a protective gelatin capsule. This provides a fast action - a water-soluble and prolonged effect - of the fat-soluble fraction.

Keywords: multivitamin complex, antioxidant properties, immunity, respiratory infections, functional properties.

Для цитирования

Позднякова О.Г., Сергеева И.Ю., Казакова М.А., Назимова Е.В., Позняковский В.М. Иммуномодулирующий поливитаминовый комплекс и его роль в антиоксидантной защите организма // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 2. С. 156–163. doi:10.20914/2310-1202-2023-2-156-163

For citation

Pozdnyakova O.G., Sergeyeva I.Yu., Kazakova M.A., Nazimova E.V., Poznyakovsky V.M. Immunomodulating multivitamin complex and its role in antioxidant protection of the body. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 2. pp. 156–163. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-2-156-163

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

Введение

Жизнь современного человека связана с напряженным жизненным ритмом, высокими психоэмоциональными и физическими нагрузками, негативным воздействием ксенобиотиков, вредных экологических факторов, что неизбежно приводит к срыву адаптационных возможностей организма, возникновению и развитию многочисленных «болезней цивилизации». При стремительном ритме жизни и недостаточном поступлении основных питательных веществ, особенно в период смены сезонов у взрослого и детского населения может возникнуть полигиповитаминоз.

В основе большинства патологий органов и систем, лежит так называемый окислительный стресс, обусловленный разрушительным действием на клетку высокореакционных свободных радикалов. При этом виде стресса организм истощается и становится доступным для различных инфекций, в том числе передающихся воздушно-капельным путем. Скорректировать его возможно путем применения оптимизированных витаминных комплексов. Продолжительный оксидативный стресс вызывает обострение хронических заболеваний.

Острые инфекции дыхательных путей являются основной причиной заболеваемости и смертности во всем мире, о чем свидетельствуют как сезонные эпидемии гриппа, так и недавняя вспышка коронавирусного заболевания COVID-19, вызванного инфекцией SARS-CoV-2. По оценкам Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), только сезонный грипп во всем мире вызывает 3–5 миллионов случаев тяжелых заболеваний, требующих госпитализации, и 290 000–650 000 случаев смерти ежегодно [1, 4]. В целом, по оценкам, в 2016 г. от острых респираторных заболеваний во всем мире умерло около 2,38 миллиона человек [1, 5]. Действительно, тяжелые инфекции нижних дыхательных путей были наиболее частой причиной смерти от сепсиса во всем мире с 1990 по 2017 год [1].

Для ограничения распространения и воздействия респираторных вирусов был разработан ряд стандартных практик здравоохранения, таких как регулярная обработка рук, ношение защитных масок, перчаток, предотвращение появления симптомов инфекции, самоизоляция [1]. В отношении некоторых вирусов, таких как грипп, во многих странах проводятся ежегодные кампании вакцинации, призванные стимулировать иммунный ответ в случае заражения.

Несомненно, практика общественной гигиены и вакцинации могут быть эффективными механизмами защиты от инфекционных заболеваний. Однако на создание вакцин могут

потребоваться годы, они доступны не против всех вирусов и обеспечивают различные уровни защиты. Приведенные выше цифры заболеваемости и смертности подчеркивают необходимость дополнительных стратегий для поддержки иммунной системы, чтобы уменьшить воздействие респираторных и других инфекций. Положение усугубляется нарушением принципов рационального, сбалансированного питания, бедного эссенциальными нутриентами, в том числе антиоксидантного ряда. Прием витаминов антиоксидантной направленности способен предотвратить или сократить длительность и тяжесть течения таких заболеваний.

Возникает необходимость коррекции метаболических нарушений, сохранения здоровья и качества жизни, где фактору питания отводится определенная роль [2, 3, 6, 8].

Одной из эффективных стратегий для поддержания оптимального функционирования иммунной системы является питание. Важность питания для иммунной функции хорошо известна [7, 9, 10, 12, 15]. Недостаток или неоптимальный статус питательных микроэлементов отрицательно влияет на иммунную функцию и может снизить сопротивляемость инфекциям. Большинство микронутриентов играют плеiotропную роль в поддержании иммунной функции. Что касается врожденного иммунитета, то витамины и минералы в совокупности поддерживают развитие и поддержание физических барьеров; производство и активность антимикробных белков; рост, дифференциацию и подвижность / хемотаксис врожденных клеток; фагоцитарную и убивающую активность нейтрофилов и макрофагов; стимулирование воспаления и восстановление после него. Они также поддерживают адаптивный иммунитет за счет дифференцировки, пролиферации и самонаведения лимфоцитов; производство цитокинов; производство антител; создание ячеек памяти. Особенно хорошо выяснена роль витаминов С и D в иммунитете [8].

Оптимальное потребление всех питательных веществ в идеале могло бы быть достигнуто за счет употребления хорошо сбалансированной и разнообразной диеты, но это может быть труднодостижимым для населения в целом. Следует также отметить, что для оптимальной нутритивной поддержки иммунной системы может потребоваться употребление некоторых питательных микроэлементов сверх рекомендуемой суточной нормы, в то же время инфекции и другие факторы стресса могут снизить статус питательных микроэлементов в организме. В частности, уровень аскорбиновой кислоты снижается во время инфекции, и для восстановления нормального уровня в крови требуется более высокое потребление [11, 17].

Цель работы – разработка иммуномодулирующего поливитаминного комплекса и определение его роли в антиоксидантной защите организма.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования служили рецептурные ингредиенты (основные и вспомогательные), лабораторные и промышленные образцы разработанного продукта. Основными рецептурными компонентами явились: красное пальмовое масло, аскорбиновая кислота, токоферол ацетат, 98% и бета-каротин, 98%, вспомогательными: аскорбил пальмитат, диоксид кремния, капсула желатиновая.

Биохимическое, в том числе антиоксидантные функции аскорбиновой кислоты связаны с ее способностью к обратимым окислительно-восстановительным реакциям, т. е. способностью быть донором водорода или промежуточным переносчиком протонов и электронов в многочисленных биохимических процессах [8].

В качестве антиоксиданта участвует в регенерации а-токоферола при его свободнорадикальном окислении в биологических мембранах, что характеризует токоферолы, сберегающие свойства аскорбиновой кислоты.

Эта функция имеет важное значение в сохранение клеточного иммунитета. Выраженный антиоксидантный эффект проявляется только в отсутствии меди и железа – металлов переменной валентности [14, 18].

Наряду с антиоксидантными свойствами аскорбиновая кислота занимает ключевые позиции в процессах кроветворения, развития соединительной ткани, устойчивости к стрессу, заживления и регенерации, обеспечения нормального иммунологического статуса, других фундаментальных биохимических и физиологических функций организма [15].

Витамин Е. Роль биологического антиоксиданта заключается в способности инактивировать свободные радикалы и тормозить свободнорадикальные процессы перекисного окисления различных органических соединений, в т. ч. ненасыщенных липидов. Эта функция токоферола имеет важное значение сохраняя целостности и функциональной активности субклеточных органелл и клеточных мембран. Способность ингибировать свободнорадикальные свойства витамина, предопределяет наличие фенольного гидроксида в его хромановом кольце. Другим важнейшим вектором рассматриваемой функции является предупреждение свободно радикального окисления липопротеидов лежащего в основе патогенеза атеросклероза и соответствующих сердечно-сосудистых заболеваний.

Бета-каротин. Является провитамином А, расщепляется в кишечнике каротиндиоксигеназой до двух молекул ретинола, поэтому реализует часть своих функций в качестве витамина А (ретинола). Что касается антиоксидантных свойств бета-каротина, то он проявляет (как и ретинол) защитное действие в отношении окислительной трансформации липопротеидов низкой плотности и холестерина, выполняя в этом процессе вспомогательную функцию (восстанавливает окисленный токоферол – более активный антиоксидант).

Показан антиаллергенный эффект бета-каротина, механизм такого влияния связан с подавлением биосинтеза иммуноглобулина IgE [14].

Установлено, что каротиноиды выполняют функции онкопрофилактических микронутриентов. Они способны блокировать активность инсулиноподобного фактора (ИФР-1) – стимулятора опухолевого роста и клеточный цикл опухолевых клеток при раке молочной железы [8].

Имеются убедительные данные о снижении риска ишемического инсульта под влиянием витамина А и каротиноидов. Это связано с их положительной ролью в генезе атеросклеротического процесса и окислительного стресса, в том числе окислительной трансформации липопротеидов низкой плотности [6].

Следует отметить, что бета-каротин не является самым мощным по своей антиоксидантной активности. В этом плане лидерами являются ликопин и лютеин, которые находят все более широкое применение в профилактике и лечении различных заболеваний, в качестве антиоксидантов, не относящихся к соединениям, обладающих активностью витамина А (всего известно более 600 природных каротиноидов) [5, 7, 19].

Красное пальмовое масло. Натуральный источник жирорастворимых витаминов, каротиноидов и кофермента Q₁₀. В отличие от других растительных масел красное пальмовое содержит значительное количество токотриенолов, которое способствует расширению кровеносных сосудов и предотвращает образование тромбов. По своим антиоксидантным свойствам они в 40–60 раз активнее токоферола и оказывают положительное влияние на многочисленные обменные процессы, предупреждающие разрушительное действие окислительного стресса и его последствия [7, 8]. Красное пальмовое масло – один из лидеров по содержанию ликопина, самого активного антиоксиданта из ряда каротиноидов. Ликопин активно участвует в нормализации липидного обмена [7].

Природный антиоксидант – кофермент Q₁₀ предупреждает энергетическое клеточное «голодание», профилактируя, структурные,

функциональные нарушения и преждевременное биологическое старение клетки, иммунную и сердечную недостаточность, заболевания печени и легких, злокачественные образования [4, 14].

Применяли общепринятые и специальные методы оценки качества и безопасности разработанного продукта. Кадмий и свинец определяли согласно ГОСТ Р 30178–96, мышьяк по ГОСТ Р 51766–2001, ртуть по ГОСТ Р 26927–86. Пестициды определяли по ГОСТ 30349–96, микробиологические показатели (патогенные, в т. ч. сальмонеллы) – ГОСТ Р 31659–2012, кислотное число – ГОСТ Р 50457–92 (ИСО 660–83), перекисное – ГОСТ Р 51487–99, содержание витамина Е – МУ 08–47/184, ФР.1.31.2005.01810, аскорбиновой кислоты по ГОСТ 31643–2012, бета-каротин – ГОСТ ISO 6558–2–2019. Все основное и вспомогательное сырье, используемое для производства препарата, должно соответствовать ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» и сопровождаться документами, подтверждающими качество и безопасность. Отбор проб проводили методом случайной выборки. Цвет капсул определяли визуально, вкус и запах по ГОСТ 15113.3, среднюю массу капсулы весовым методом.

Для определения средней массы на аналитических весах с точностью до 0,1 мг взвешивали вместе 20 не вскрытых капсул и определяли среднюю массу.

Определяли содержание витамина Е по МУ 08–47/184, ФР.1.31.2005.01810. Содержание бета-каротина по ГОСТ ISO 6558–2–2019. Патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонеллы в соответствии с ГОСТ 26669, ГОСТ 26670, ГОСТ 31659. Содержание токсичных элементов: свинца, кадмия, меди, цинка, железа по ГОСТ 30178, мышьяка по ГОСТ Р 51766, ртути по ГОСТ 26927.

Проверяют массу отдельных капсул взвешивая, поочередно, 20 капсул и среднюю массу, взвешивая 20 капсул. Допустимые отклонения $\pm 5\%$.

В условиях муниципального клинического лечебно-профилактического медицинского учреждения «Городская больница № 3», г. Томск провели клинические исследования разработанного продукта.

В качестве диагностического инструментария использовалась методика SF-36 (The Short Form-36) [7, 20, 21].

Результаты

Иммуномодулирующий поливитаминный комплекс в форме биологически активной добавки с направленными антиоксидантными

свойствами, мг / 1 капсулу: красное пальмовое масло – 432; аскорбиновая кислота – 70; аскорбил пальмитат – 10; токоферол ацетат, 98% – 15,3 (витамин Е – 15); бета-каротин, 98% – 5,1 (бета – каротин – 0,5); диоксид кремния (носитель) – 17,6; капсула желатиновая – 110. Общая масса 660 мг.

Синергические свойства антиоксидантных витаминов реализуется по следующим основным направлениям:

– аскорбиновая кислота и а-токоферол обладает способностью улавливать синглетный кислород и свободные радикалы. Осуществляют замещение и репарацию повреждений путем влияния на ферментные системы и обменные процессы;

– витамин Е проявляет защитное действие в качестве «структурного» антиоксиданта путем предотвращения контакта активных форм кислорода с мембранными белками, другими функционально-активными компонентами клетки;

Технология производства начинается с подготовки исходных сырьевых компонентов. На втором этапе готовят смесь для капсулирования. С этой целью в реактор – гомогенизатор, при постоянном перемешивании, дозируют заданные ингредиенты в следующем порядке: пальмовое масло, токоферол ацетат, бета-каротин, аскорбиновую кислоту, аскорбил пальмитат. Аэросил добавляют отдельно в масляную смесь, в последнюю очередь и гомогенизируют 5–10 минут. Полученную смесь хранят не более 15 дней во избежание потерь технологических характеристик.

Третий этап – процесс капсулирования с использованием капсульного автоматического станка. Через каждые 60 минут осматривают 10 капсул, проверяя их внешний вид на наличие замятий краев крышки и тела капсулы, вмятин, сколов, подтеков. Капсула должна быть ровной по вертикальной оси гладкой.

На следующем этапе капсулы запаивают желатином на установке РАМ BS40, проверяя через каждые 10 минут качество швов, через каждые 60 минут – вязкость раствора желатина.

На заключительном этапе капсулы, удовлетворяющие требованиям, фасуют, упаковывают и направляют их на хранение – 2 года со дня изготовления при температуре не выше 25 °С, в сухом, защищенном от света месте.

Инновационность технологии заключается в отказе от инертных материалов и использовании в качестве носителя уникального по своему составу красного пальмового масла, богатого, наряду с жирорастворимыми витаминами, другими мощными антиоксидантами – ликопином и

коферментом Q₁₀. Предложен способ укупорки в защитную желатиновую капсулу аскорбиновую кислоту в двух формах (наряду с другими жирорастворимыми витаминами) – быстродействующий, водорастворимой и пролонгированной – жирорастворимой, связанной с пальмитиновой кислотой.

Рассмотренные компоненты рецептуры обладают синергическим эффектом в отношении реализации своих антиоксидантных свойств, обеспечивают их рациональное использование при одновременном увеличении функциональной активности.

По органолептическим и физико-химическим показателям разработанный продукт в форме желатиновых капсул должен соответствовать следующим требованиям. Цвет капсул может незначительно различаться от оранжевого до красного, обладать специфическим вкусом и запахом, средняя масса капсул может колебаться

от 0,59 до 0,72 г. Содержание витамина Е, аскорбиновой кислоты и бета-каротина может варьироваться от 10,5 до 19,5, от 56 до 84 и от 4,0 до 6,0 мг/капс. соответственно.

По микробиологическим показателям разработанная добавка должна отвечать требованиям ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» Приложение 1 (биологически активные добавки на основе растительных масел, липидов животного и растительного происхождения). Патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонеллы в 10 г. продукта не допускаются.

По содержанию токсичных элементов, пестицидов разработанная добавка должна отвечать требованиям ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» Приложение 3, п. 10 (биологически активные добавки на основе растительных масел, липидов животного и растительного происхождения), п. 7 (Продукты переработки растительных масел), указанным в таблице 1.

Таблица 1.

Регламентируемые показатели по содержанию токсичных элементов, пестицидов разработанного продукта

Table 1.

Regulated indicators on the content of toxic elements, pesticides of the developed product

Показатель Index		Допустимый уровень его содержания, мг/кг, не более Permissible level of its content, mg/kg, not more than	Результаты определений поливитаминного комплекса, мг/кг, не более Results of multivitamin complex determinations, mg/kg, not more than	
Токсичные элементы Toxic elements	Pb	0,1	0,05	
	As	0,1	–	
	Cd	0,05	–	
	Hg	0,05	–	
	Fe	1,5	0,003	
	Cu	0,1	–	
Микотоксины Mycotoxins	Афлатоксин B1 Aflatoxin B1	0,005	–	
Пестициды Pesticides	ГХЦГ (сумма изомеров) HCH (sum of isomers)		0,05	–
	ДДТ и его метаболиты DDT and its metabolites		0,1	–
	Гептахлор Heptachlor		не допускается (<0,002) not allowed (<0.002)	–
	Алдрин Aldrin		не допускается (<0,002) not allowed (<0.002)	–
Перекисное число, ммоль активного O ₂ /кг Peroxide value, mmol of active O ₂ /kg		10	–	–
Диоксины (в пересчете на жир) Dioxins (in terms of fat)		0,00000075*	–	–
* – в случаях ухудшения экологической ситуации, связанной с авариями приводящих к образованию и попадания диоксинов в окружающую среду; в случае обоснованного предположения о возможном их наличии * – in cases of deterioration of the environmental situation associated with accidents leading to the formation and release of dioxins into the environment; in the event of a reasonable assumption that they may be present				

Исследовали влияние разработанного продукта на показатели качества жизни двух групп добровольцев, которые испытывали высокие психофизические нагрузки профессионального плана.

В исследованиях принимали участие опытная и контрольная группа добровольцев, рандомизированные и сопоставленные между собой по профессиональному фактору, полу и возрасту. Количество человек в каждой из

групп составляло – двадцать. Контрольной группе был рекомендован прием любых аптечных форм витаминов А, С и Е в рекомендуемых производителем дозировках. Опытная группа принимала разработанный продукт по одной капсуле в сутки. Продолжительность исследований составила 30 дней, на 31 день от начала приема проводили исследования. Исследования проводили амбулаторно. На рисунках 1 и 2 представлены результаты определений показателей качества жизни добровольцев до и после применения разработанного продукта и контрольной группы соответственно.

Изучали такие показатели жизни, как: GH – общее состояние здоровья; PF – физическое функционирование; RP – влияние физического состояния на ролевое функционирование (работу, выполнение профессиональной деятельности); RE – влияние эмоционального состояния на ролевое функционирование; SF – социальное

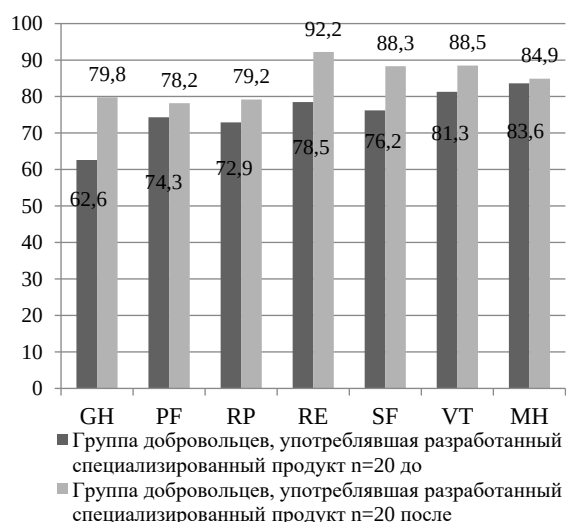


Рисунок 1. Результаты определения показателей качества жизни добровольцев до и после применения разработанного продукта

Figure 1. The results of determining the quality of life of volunteers before and after the application of the developed product

Анализируя данные рисунков 1 и 2, можно заключить что разработанный продукт оказал оптимизирующее влияние на группу добровольцев с высокой профессиональной психофизической нагрузкой. Стресс и нагрузки в сфере профессиональной деятельности лимитирует качество жизни, в большей степени отражаясь на восприятии физических нагрузок. Применяемый для исследований тест SF-36 показал положительное влияние разработанного продукта на качество жизни.

функционирование; VT – жизнеспособность; MH – самооценка психического здоровья.

Достоверность определений подтверждена значениями Т-критерия Уилкоксона (таблица 2).

Таблица 2.
Значения Т-критерия Уилкоксона для каждого определяемого показателя

Table 2.
Wilcoxon T-test values for each indicator being determined

Показатель Index	Уровень значимости различий, Т-критерий Уилкоксона Level of significance of differences, Wilcoxon T-test	
	до before	после after
GH	0,52	0,031
PF	0,41	0,046
RP	0,32	0,042
RE	0,68	0,033
SF	0,64	0,048
VT	0,62	0,6
MH	0,64	0,75

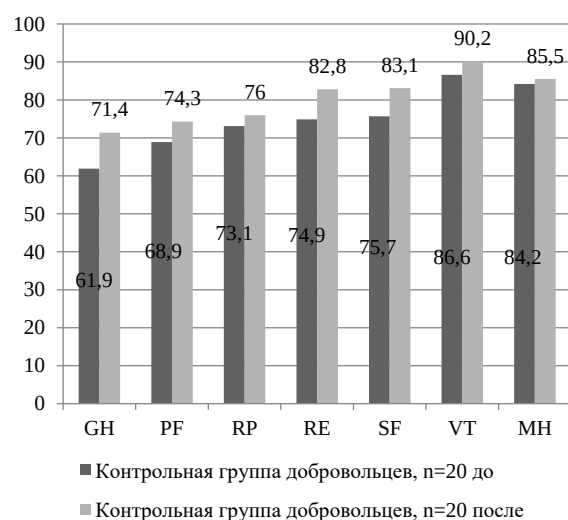


Рисунок 2. Результаты определения показателей качества жизни добровольцев контрольной группы

Figure 2. Results of determining the quality of life indicators of control group volunteers

Заключение

Компоненты разработанного продукта в виде поливитаминого комплекса оказали положительное влияние на анализируемые показатели теста SF-36. Согласно результатам теста общее состояние здоровья в группе добровольцев после приема поливитаминого комплекса увеличилось на 17,2 % в то время как у контрольной группы всего на 9,5 %, по показателю жизнеспособность на 7,2 и 3,6 % в опытной и контрольной группе соответственно.

Инновационность нового препарата заключается в отказе от инертных материалов и использовании в качестве носителя уникального по своему составу красного пальмового масла, богатого, наряду с жирорастворимыми витаминами, высоко активными антиоксидантами –

ликопином и коферментом Q₁₀. Предложен способ капсулирования в защитную желатиновую капсулу. Это обеспечивает быстрое действие – водорастворимой и пролонгированный эффект – жирорастворимой фракции

Литература

- 1 World Health Organization Influenza (Seasonal). URL: [https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/influenza-\(seasonal\)](https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/influenza-(seasonal))
- 2 Dubkova N.Z., Kharkov V.V., Vakhitov M.R. Using Jerusalem artichoke powder in functional food production. *Foods and Raw Materials*. 2021. V. 9 № 1. P. 69–78. doi: 10.21603/2308-4057-2021-1-69-78
- 3 Коденцова В.М. Об обогащении пищевых продуктов витаминами // Вопросы питания. 2016. Т. 85. № 4. С. 87–90.
- 4 Рогов И.А., Орешкин Е.Н., Сергеев В.Н. Медико-технологические аспекты разработки и производства функциональных пищевых продуктов // Пищевая промышленность. 2017. № 1. С. 13–15.
- 5 Gupta R.K., Minhas D., Minhas S. Food safety in the 21st century: Public health perspective. Academic Press, 2016. 624 p. doi: 10.1016/C2014-0-01094-5
- 6 Lisitsyn A.B., Chernukha I.M., Nikitina M.A. Russian methodology for designing multicomponent foods in retrospect // *Foods and Raw Materials*. 2020. V. 8. № 1. P. 2-11. doi: 10.21603/2308-4057-2020-1-2-11
- 7 Позднякова О.Г., Казакова М.А., Австриевских А.Н. и др. Исследование влияния комплекса антиоксидантных витаминов для профилактики заболеваний // Техника и технология пищевых производств. 2019. Т. 49. № 4. С. 652–659. doi: 10.21603/2074-9414-2019-4-652-659
- 8 Позняковский В.М., Чугунова О.В., Тамова М.Ю. Пищевые ингредиенты и биологически активные добавки. М.: ИНФРА-М, 2017. 143 с.
- 9 Vorobyeva V.M., Vorobyeva I.S., Kochetkova A.A., Mazo V.K. et al. Specialised hypocholesteremic foods: Ingredients, technology, effects // *Foods and Raw Materials*. 2020. V. 8 № 1. P. 20–29. doi: 10.21603/2308-4057-2020-1-20-29
- 10 Silagadze M., Gamkrelidze E., Gachechiladze S., Khurtsidze M. et al. Development of new generation “live” foods with rational use of raw materials from Georgian resources // Scientific enquiry in the contemporary world: theoretical basiss and innovative approach. 2016. P. 238-243. doi: 10.15350/L_26/8/15
- 11 Popov V.G., Khabarov S.N., Kadochnikova G.D., Poznyakovsky V.M. Improvement of the Methods of Extraction of Plant Raw Materials // *International Journal of Applied Engineering Research*. 2017. V. 12
- 12 Спиричев В.Б., Трихина В.В. Биохимическая характеристика эссенциальных нутриентов как научная основа для определения функциональных свойств специализированных продуктов и механизмов их действия на обменные процессы // Человек. Спорт. Медицина. 2017. Т. 17. № 2. С. 5–19. doi: 10.14529/hsm170201
- 13 Ocholyas E.N., Lebskaya T.K. Use of laminaria and fucus biologically active additives as ingredients for healthy nutrition // *SWorldJournal*. 2016. V. 1110. P. 129-132.
- 14 Surai P.F., Fisinin V.I. Natural antioxidants and stresses in poultry production: from vitamins to vitagenes // The proceedings of XXV world's poultry congress. 2016. P. 116–121.
- 15 Birch C.S., Bonwick G.A. Ensuring the future of functional foods // *International Journal of Food Science and Technology*. 2019. V. 54. № 5. P. 1467–1485. doi: 10.1111/ijfs.14060
- 16 Derkanosova N.M., Shelamova S.A., Ponomareva I.N. et al. Parameters modelling of amaranth grain processing technology // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. V. 327. № 2. doi: 10.1088/1757-899X/327/2/022023
- 17 Lobach E.Yu., Poznyakovskiy V.M. Methodological aspects and operational experience of the new baa with targeted functional properties // *Foods and Raw Materials*. 2016. V. 4. № 2. P. 66–74.
- 18 O'Sullivan M.G. A Handbook for Sensory and Consumer-Driven New Product Development: Innovative Technologies for the Food and Beverage Industry. Woodhead Publishing, 2016. 370 p.
- 19 Godard A., De Caro P., Vedrenne E., Mouloungui Z., Thiebaud-roux S. From crops to products for crops: preserving the ecosystem through the use of bio-based molecules // *Ocl – oilseeds and fats, crops and lipids*. 2016. P. 510.
- 20 Маль Г.С., Дудка М.В., Бушуева О.Ю. и др. Изучение показателей качества жизни у больных ИБС с использованием опросника SF-36 // Качественная клиническая практика. 2016. № 2. С. 52–56.
- 21 Кашкина Н.В., Боталов Н.С., Некрасова Ю.Э. Изучение показателей качества жизни у больных ИБС с использованием опросника sf-36 // Международный студенческий научный вестник. 2018. № 5. URL: <http://eduherald.ru/ru/article/view?id=18667>

References

- 1 World Health Organization Influenza (Seasonal). Available at: [https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/influenza-\(seasonal\)](https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/influenza-(seasonal))
- 2 Dubkova N.Z., Kharkov V.V., Vakhitov M.R. Using Jerusalem artichoke powder in functional food production. *Foods and Raw Materials*. 2021. vol. 9 no. 1. pp. 69–78. doi: 10.21603/2308-4057-2021-1-69-78
- 3 Kodentsova V.M. On the enrichment of food products with vitamins. *Nutrition Issues*. 2016. vol. 85. no. 4. pp. 87–90. (in Russian).
- 4 Rogov I.A., Oreshkin E.N., Sergeev V.N. Medical and technological aspects of the development and production of functional food products. *Food Industry*. 2017. no. 1. pp. 13–15. (in Russian).
- 5 Gupta R.K., Minhas D., Minhas S. Food safety in the 21st century: Public health perspective. Academic Press, 2016. 624 p. doi: 10.1016/C2014-0-01094-5
- 6 Lisitsyn A.B., Chernukha I.M., Nikitina M.A. Russian methodology for designing multicomponent foods in retrospect. *Foods and Raw Materials*. 2020. vol. 8. no. 1. pp. 2-11. doi: 10.21603/2308-4057-2020-1-2-11
- 7 Pozdnyakova O.G., Kazakova M.A., Avstrievskikh A.N. and others. Study of the influence of a complex of antioxidant vitamins for the prevention of diseases. Equipment and technology of food production. 2019. vol. 49. no. 4. pp. 652–659. doi: 10.21603/2074-9414-2019-4-652-659 (in Russian).
- 8 Poznyakovskiy V.M., Chugunova O.V., Tamova M.Yu. Food ingredients and dietary supplements. M., INFRA-M, 2017. 143 p. (in Russian).
- 9 Vorobyeva V.M., Vorobyeva I.S., Kochetkova A.A., Mazo V.K. et al. Specialised hypocholesteremic foods: Ingredients, technology, effects. *Foods and Raw Materials*. 2020. vol. 8 no. 1. pp. 20–29. doi: 10.21603/2308-4057-2020-1-20-29

- 10 Silagadze M., Gamkrelidze E., Gachechiladze S., Khurtsidze M. et al. Development of new generation “live” foods with rational use of raw materials from Georgian resources. Scientific enquiry in the contemporary world: theoretical basiss and innovative approach. 2016. pp. 238–243. doi: 10.15350/L_26/8/15
- 11 Popov V.G., Khabarov S.N., Kadochnikova G.D., Poznyakovskiy V.M. Improvement of the Methods of Extraction of Plant Raw Materials. International Journal of Applied Engineering Research. 2017. vol. 12.
- 12 Spirichev V.B., Trikhina V.V. Biochemical characteristics of essential nutrients as a scientific basis for determining the functional properties of specialized products and the mechanisms of their action on metabolic processes. Man. Sport. Medicine. 2017. vol. 17. no. 2. pp. 5–19. doi: 10.14529/hsm170201 (in Russian).
- 13 Ocholyas E.N., Lebskaya T.K. Use of laminaria and fucus biologically active additives as ingredients for healthy nutrition. SWorldJournal. 2016. vol. 1110. pp. 129–132.
- 14 Surai P.F., Fisinin V.I. Natural antioxidants and stresses in poultry production: from vitamins to vitagenes. The proceedings of XXV world's poultry congress. 2016. pp. 116–121.
- 15 Birch C.S., Bonwick G.A. Ensuring the future of functional foods. International Journal of Food Science and Technology. 2019. vol. 54. no. 5. pp. 1467–1485. doi: 10.1111/ijfs.14060
- 16 Derkanosova N.M., Shelamova S.A., Ponomareva I.N. et al. Parameters modelling of amaranth grain processing technology. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. vol. 327. no. 2. doi: 10.1088/1757–899X/327/2/022023
- 17 Lobach E.Yu., Poznyakovskiy V.M. Methodological aspects and operational experience of the new baa with targeted functional properties. Foods and Raw Materials. 2016. vol. 4. no. 2. pp. 66–74.
- 18 O'Sullivan M.G. A Handbook for Sensory and Consumer-Driven New Product Development: Innovative Technologies for the Food and Beverage Industry. Woodhead Publishing, 2016. 370 p.
- 19 Godard A., De Caro P., Vedrenne E., Mouloungui Z., Thiebaut-roux S. From crops to products for crops: preserving the ecosystem through the use of bio-based molecules. Ocl – oilseeds and fats, crops and lipids. 2016. pp. 510.
- 20 Mal G.S., Dudka M.V., Bushueva O.Yu. and others. Study of quality of life indicators in patients with coronary artery disease using the SF 36 questionnaire. Qualitative clinical practice. 2016. no. 2. pp. 52–56. (in Russian).
- 21 Kashkina N.V., Botalov N.S., Nekrasova Yu.E. Study of quality of life indicators in patients with coronary artery disease using the sf 36 questionnaire. International Student Scientific Bulletin. 2018. no. 5. Available at: <http://eduherald.ru/ru/article/view?id=1866> (in Russian).

Сведения об авторах

Ольга Г. Позднякова к.т.н., начальник отдела развития профессиональных квалификаций, Центр опережающей профессиональной подготовки Кузбасса, ул. Павленко, 1А, г. Кемерово, 650021, Россия, 79502628552@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7599-0676>

Ирина Ю. Сергеева д.т.н., профессор, кафедра технология продуктов питания из растительного сырья, Кемеровский государственный университет, бульвар Строителей, 47, г. Кемерово, 650056, Россия, tpprs@kemsu.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1686-0131>

Мария А. Казакова старший преподаватель, кафедра ландшафтной архитектуры, Кузбасский государственный аграрный университет имени В.Н. Полецкого, ул. Марковцева, 5, г. Кемерово, 650056 Россия, mariya_kazakova@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1141-4167>

Екатерина В. Назимова к.т.н., доцент, кафедра технология продуктов питания из растительного сырья, Кемеровский государственный университет, бульвар Строителей, 47, г. Кемерово, 650056, Россия, tpprs@kemsu.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1063-0677>

Валерий М. Позняковский д.б.н., профессор, научно-образовательный центр прикладная биотехнология и нутрициология, Кемеровский государственный медицинский университет, ул. Ворошилова, 22А, г. Кемерово, 650056 Россия, pvm1947@bk.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7034-4675>

Вклад авторов

Ольга Г. Позднякова обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты

Ирина Ю. Сергеева предложила методику проведения эксперимента и организовала производственные испытания

Мария А. Казакова написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Екатерина В. Назимова предложила методику проведения эксперимента

Валерий М. Позняковский консультация в ходе исследования

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Olga G. Pozdnyakova Cand. Sci. (Engin.), Head of the Department for the Development of Professional Qualifications, Center for Advanced Professional Training of Kuzbass, st. Pavlenko, 1A, Kemerovo, 650021 Russia, 79502628552@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7599-0676>

Irina Yu. Sergeyeva Dr. Sci. (Engin.), professor, technology of food products from plant raw materials department, Kemerovo State University, Boulevard of Builders, 47, Kemerovo, 650056, Russia, tpprs@kemsu.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1686-0131>

Maria A. Kazakova senior teacher, landscape architecture department, Kuzbass State Agrarian University named after V.N. Poletskov, st. Markovtseva, 5, Kemerovo, 650056 Russia, mariya_kazakova@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1141-4167>

Ekaterina V. Nazimova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technology of food products from plant raw materials department, Kemerovo State University, Boulevard of Builders, 47, Kemerovo, 650056, Russia, tpprs@kemsu.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1063-0677>

Valery M. Poznyakovskiy Dr. Sci. (Biol.), professor, Scientific and Educational Center for Applied Biotechnology and Nutrition, Kemerovo State Medical University, st. Voroshilova, 22A, Kemerovo, 650056 Russia, pvm1947@bk.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7034-4675>

Contribution

Olga G. Pozdnyakova review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Irina Yu. Sergeyeva review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Maria A. Kazakova wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Ekaterina V. Nazimova proposed a scheme of the experiment and organized production trials

Valery M. Poznyakovskiy consultation during the study

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 10/04/2023	После редакции 12/05/2023	Принята в печать 29/05/2023
Received 10/04/2023	Accepted in revised 12/05/2023	Accepted 29/05/2023

Определение фракционного состава зеленой массы амаранта

Светлана В. Образцова	¹	sveta5501pavlenkova@ya.ru	 0000-0001-9539-0168
Ольга В. Бондарева	¹	bond.vrn15@ya.ru	 0000-0002-7051-9858
Татьяна В. Свиридова	¹	sviridovativ@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. Обеспечение потребности населения высококачественными продуктами питания является одной из главных задач аграрной политики. В связи с высокой импортозависимостью в кормопроизводстве разработка новых отечественных высокобелковых кормовых добавок, обеспечивающих получение высококачественной, диетической и биобезопасной продукции, является актуальным направлением исследований. В последнее время большое внимание уделяется расширению ассортимента кормовых культур и получению более дешевой, конкурентоспособной продукции птицеводства. Лидирующее место среди кормовых высокобелковых трав, используемых для получения витаминно-травяной муки, занимают люцерна и клевер. В связи с этим, в работе был проведен сравнительный анализ фракционного состава фитомассы амаранта в сравнении с люцерной и клевером. Установлено, что амарант по количеству питательных веществ не уступает традиционным видам кормовых высокобелковых трав, используемых для получения витаминно-травяной муки. Зеленая масса амаранта отличается высоким содержанием сырого протеина (14,89 %), жира (4,33 %), золы (11,15 %). По количеству незаменимых аминокислот белок амаранта близок к идеальному белку, а по содержанию аргинина (4,52 %) и лизина (0,72 %) превосходит эти показатели для белков люцерны и клевера. Таким образом, сравнительный анализ химического состава зеленой массы амаранта, люцерны и клевера показал, что амарант по количеству питательных компонентов не уступает традиционным видам кормовых высокобелковых трав; белок имеет более сбалансированный аминокислотный состав, близкий к идеальному белку, что характеризует зеленую массу амаранта как перспективное сырье для получения высокобелковой кормовой добавки для перепелов.

Ключевые слова: фракционный состав, зеленая масса, амарант, кормовая добавка, перепеловодство.

Determination of the fractional composition of the green mass of amaranth

Svetlana V. Obraztsova	¹	sveta5501pavlenkova@ya.ru	 0000-0001-9539-0168
Olga V. Bondareva	¹	bond.vrn15@ya.ru	 0000-0002-7051-9858
Tatiana V. Sviridova	¹	sviridovativ@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. Meeting the population's needs with high-quality food products is one of the main objectives of agricultural policy. Due to the high import dependence in feed production, the development of new domestic high-protein feed additives that ensure the production of high-quality, dietary and biosafe products is a current area of research. Recently, much attention has been paid to expanding the range of feed crops and obtaining cheaper, competitive poultry products. The leading place among high-protein fodder grasses used to obtain vitamin-grass meal is occupied by alfalfa and clover. In this regard, the work carried out a comparative analysis of the fractional composition of amaranth phytomass in comparison with alfalfa and clover. It has been established that amaranth is not inferior in the amount of nutrients to traditional types of high-protein fodder grasses used to obtain vitamin-herbal flour. The green mass of amaranth is characterized by a high content of crude protein (14.89%), fat (4.33%), and ash (11.15%). In terms of the amount of essential amino acids, amaranth protein is close to an ideal protein, and in terms of the content of arginine (4.52%) and lysine (0.72%) it exceeds these indicators for alfalfa and clover proteins. Thus, a comparative analysis of the chemical composition of the green mass of amaranth, alfalfa and clover showed that amaranth is not inferior to traditional types of forage high-protein grasses in terms of the amount of nutritional components; the protein has a more balanced amino acid composition, close to ideal protein, which characterizes the green mass of amaranth as a promising raw material for producing a high-protein feed additive for quail.

Keywords: fractional composition, green mass, amaranth, feed additive, quail farming.

Введение

Обеспечение потребности населения высококачественными продуктами питания является одной из главных задач аграрной политики [18]. Перепеловодство является динамично

развивающимся направлением современного птицеводства, так как его продукты обладают высокой биологической ценностью, уникальными качествами и диетическими свойствами [2, 3, 9, 16].

Для цитирования

Образцова С.В., Бондарева О.В., Свиридова Т.В., Шуваева Г.П., Мещерякова О.Л., Корнеева О.С. Определение фракционного состава зеленой массы амаранта // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 2. С. 164–169. doi:10.20914/2310-1202-2023-2-164-169

For citation

Obraztsova S.V., Bondareva O.V., Sviridova T.V., Shuvaeva G.P., Meshcheryakova O.L., Korneeva O.C. Determination of the fractional composition of the green mass of amaranth. Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 2. pp. 164–169. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-2-164-169

Установлено, что продуктивные качества перепелов в первую очередь зависят от функционирования желудочно-кишечного тракта и применяемых кормовых рационов. Недостаток незаменимых аминокислот или несбалансированность их соотношения в рационе приводит к нарушению обмена белков, липидов, витаминов, углеводов, задержке роста и снижению продуктивности птицы [19]. В связи с высокой импортозависимостью в кормопроизводстве разработка новых отечественных высокобелковых кормовых добавок, обеспечивающих получение высококачественной, диетической и биобезопасной продукции, является актуальным направлением исследований.

Одним из путей повышения качества кормов является введение в рацион перепелов нетрадиционной кормовой культуры – амаранта (*Amaranthus*) в качестве источника белка, содержащего незаменимую аминокислоту лизин, которая не содержится в традиционных злаковых и бобовых растениях [6, 7, 10, 11, 14]. Амарант – относительно новая кормовая культура, легко адаптируемая к различным условиям среды и признанная ЮНЕСКО основной продовольственной культурой XXI века. Она привлекает к себе внимание относительно низкой стоимостью, высокой урожайностью, большим количеством сбалансированного легкоусвояемого белка, витаминов, микро- и макроэлементов и других биологически активных веществ необходимых для перепелов [4, 8, 12, 20].

Цель работы – определение фракционного состава зеленой массы амаранта сорта Гигант и его сравнительной оценке с некоторыми традиционными видами сырья для производства витаминно-травяной муки.

Материалы и методы

Объектом исследования являлась зеленая масса амаранта сорта «Гигант» (*Amaranthus hypochondriacus*), урожай 2022 г.

В растительных образцах определяли содержание первоначальной влаги методом высушивания по ГОСТ 1396.3–92; сырой золы по 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 (БЭВ) – расчётным методом, пектиновые вещества – ГОСТ 29059–91; количество витаминов – по ГОСТ 30417–96, ГОСТ Р 52741–2007, ГОСТ Р 50928–96, МУК 2015.5–99; минеральный состав – ГОСТ Р 51429–99 (РФ), ГОСТ 51430–99.

Изучение аминокислотного состава осуществляли на автоматическом аминокислотном анализаторе на базе жидкостного хроматографа SHIMADZU Prominence LC-20 в Испытательном центре ВГУИТ.

Результаты и обсуждение

В последние время большое внимание уделяется расширению ассортимента кормовых культур и получению более дешевой, конкурентоспособной продукции птицеводства. Лидирующее место среди кормовых высокобелковых трав, используемых для получения витаминно-травяной муки, занимают люцерна и клевер [12, 13, 15, 17]. В связи с этим, в работе был проведен анализ фракционного состава фитомассы амаранта в сравнении с люцерной и клевером.

Сравнительный анализ химического состава зеленой массы изучаемых кормовых культур (таблица 1) показал, что амарант по количеству питательных веществ не уступает традиционным видам сырья. По содержанию протеина и жиров зеленая масса амаранта превосходит на 0,20–1,02 и 0,59–1,30%, а углеводов и клетчатки уступает на 1,20–5,37 и 5,04–8,00% соответственно люцерне и клеверу. Количество зольного остатка в 1,8–2 раза выше, что свидетельствует о богатом минеральном составе зеленой массы амаранта (таблица 2).

Таблица 1.

Сравнительный анализ химического состава кормовых культур (% в сухом веществе)

Table 1.

Comparative analysis of the chemical composition of fodder crops (% in dry matter)

Массовая доля, % Mass fraction, %	Зеленая масса амаранта Green mass of amaranth	Зеленая масса люцерны Green mass of alfalfa [5]	Зеленая масса клевера Green mass of clover [3]
Протеин Protein	14,89	14,69	13,87
Жир Fat	4,33	3,74	3,03
Клетчатка Fiber	23,10	31,10	28,14
Зола Ash	11,15	5,65	5,97
Безазотистые экстрактивные вещества Nitrogen-free extractive substances	40,11	37,32	45,49
Пектиновые вещества Pectin substances	3,51	7,50	3,50

По содержанию магния и железа зеленая масса амаранта в 4,1 и 2,2 раза превосходит люцерну, но при этом уступает клеверу в 1,50 и 1,96 раз соответственно. Количество натрия и фосфора в амаранте ниже в 1,5–1,65 и 1,43–1,6 раз по сравнению с традиционными культурами соответственно.

По витаминному составу зеленая масса амаранта занимает промежуточное место между люцерной и клевером. Количество витамина С в амаранте в 2 раза ниже, чем в люцерне (4,20 мг% против 8,20 мг%, соответственно). Однако этот факт не снижает достоинств зеленой массы амаранта в качестве питательной кормовой культуры.

Таблица 2.

Сравнительная характеристика минерального и витаминного составов зеленой массы кормовых культур (в сухом веществе)

Table 2.

Comparative characteristics of the mineral and vitamin composition of the green mass of fodder crops (in dry matter)

Параметр Parameter	Зеленая масса амаранта Green mass of amaranth	Зеленая масса люцерны Green mass of alfalfa [5]	Зеленая масса клевера Green mass of clover [3]
Минеральный состав Mineral composition			
Натрий (Na), мг Natrium, mg	4,0	6,0	6,6
Калий (K), мг Kalium, mg	508,0	530,0	523,4
Кальций (Ca), мг Calcium, mg	1660,0	1818,2	1328,9
Магний (Mg), мг Magnesium, mg	248,0	60,0	382,3
Железо (Fe), мг Ferrum, mg	7,6	3,4	14,9
Фосфор (P), мг Phosphorus, mg	450,0	800,0	897,0
Витаминный состав Vitamin composition			
Тиамин (B1), мг% Thiamine, mg%	1,20	1,30	3,42
Рибофлавин (B2), мг% Riboflavin, mg%	2,00	4,00	1,10
Витамин Е, мг% Vitamin E, mg%	1,19	5,00	3,70
Витамин С, мг% Vitamin C, mg%	4,20	8,20	5,50
Ниацин (PP), мг% Niacin, mg%	0,92	0	1,62

Анализ аминокислотного состава белка зеленой массы амаранта (таблица 3) показал, что он близок к белкам люцерны и клевера. Сумма незаменимых аминокислот белка амаранта на 3,77 и 3,33% выше по сравнению с белком люцерны и клевера соответственно, что свидетельствует о более сбалансированном составе амарантового белка. Кроме того, по содержанию лизина он превосходит белок люцерны и клевера на 0,59 и 0,43%, по содержанию аргинина – на 2,94 и 1,85%, соответственно, а по количеству незаменимых аминокислот близок к идеальному белку. Это особенно важно учитывать в рационе перепелов, т. к. лизин обеспечивает интенсивный рост, хорошее оперение,

нормализует азотистый обмен в организме, способствует отложению кальция, необходим для синтеза нуклепротеидов; аргинин – влияет на оперение перепелов, стимулирует прирост живой массы птенцов, участвует в обмене внутриядерного клеточного белка, связан с функцией сперматогенеза и углеводного обмена, служит источником образования в организме креатина и креатинина – важных промежуточных соединений в обмене веществ [1].

Таблица 3.

Аминокислотный состав белка зеленой массы кормовых культур (% в сухом веществе)

Table 3.

Amino acid composition of the protein of the green mass of fodder crops (% in dry matter)

Аминокислота, % Amino acid, %	Зеленая масса амаранта Green mass of amaranth	Зеленая масса люцерны Green mass of alfalfa [1,5]	Зеленая масса клевера Green mass of clover [3]
Аспарагиновая кислота (аспартат) + аспаргин Aspartic acid (aspartate) + asparagine	1,18	2,53	1,75
Тирозин Tyrosine	0,36	0,53	0,25
Серин Serin	0,41	0,67	0,55
Глутаминовая кислота (глутамат) + глутамин Glutamic acid (glutamate) + glutamine	1,31	1,54	1,62
Пролин Proline	0,60	0,69	0,59
Глицин Glycine	0,68	0,74	0,72
Аланин Alanin	0,84	0,98	0,87
Цистеин Cysteine	0,04	0,19	0,26
Валин Valin	0,73	0,89	0,85
Метионин Methionine	0,11	0,28	0,21
Изолейцин Isoleucine	0,61	0,71	0,76
Лейцин Leucine	0,97	1,19	0,89
Треонин Threonine	0,37	0,70	0,63
Фениланин Phenylalanine	0,63	0,79	0,54
Гистидин Histidine	0,27	0,37	0,30
Лизин Lysine	0,72	0,13	0,29
Аргинин Arginine	4,52	1,58	2,67
Триптофан Tryptophan	0,09	0,18	0,12
Сумма незаменимых аминокислот	10,59	6,82	7,26

Таким образом, сравнительный анализ химического состава зеленой массы амаранта, люцерны и клевера показал, что амарант по количеству питательных компонентов не уступает традиционным видам кормовых высокобелковых трав; белок имеет более сбалансированный аминокислотный состав, близкий к идеальному белку, что характеризует зеленую массу амаранта как перспективное сырье для получения высокобелковой кормовой добавки для перепелов.

Заключение

Установлено, что амарант по количеству питательных веществ не уступает традиционным видам кормовых высокобелковых трав – люцерне и клеверу, используемых для получения витаминно-травяной муки. Зеленая масса амаранта отличается высоким содержанием сырого протеина (14,89%), жира (4,33%), золы (11,15%). По количеству незаменимых аминокислот белок амаранта близок к идеальному

белку, а по содержанию аргинина (4,52%) и лизина (0,72%) превосходит эти показатели для люцерны и клевера.

Полученные данные свидетельствуют о том, что зеленая масса амаранта является перспективным сырьем для производства высокобелковой кормовой добавки для перепелов.

Благодарности

Работа выполнена в рамках гранта РНФ № 22-76-00062.

Литература

- 1 Gawel E., Grzelak M. Protein from lucerne in animals supplement diet // Journal of Food Agriculture and Environment. 2014. V. 12. №. 2. P. 314–319.
- 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 Исупов А.Н., Ложкина Л.А., Белослудцев Д.В. Влияние извести различных месторождений Удмуртской Республики на урожайность и химический состав клевера лугового // Современное состояние и инновационные пути развития земледелия, мелиорации и защиты почв от эрозии: материалы Национальной научно-практической конференции, посвященной 90-летию доктора сельскохозяйственных наук, заслуженного работника сельского хозяйства Удмуртской Республики, почетного работника высшего профессионального образования Российской Федерации, профессора Владимира Михайловича Холзакова и 75-летию кандидата сельскохозяйственных наук, доцента Анатолия Ивановича Венчикова, Ижевск, 17 марта 2022 года. Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2022. С. 16–20.
- 4 Куликов Ю.А., Сагитов Р.Н., Матросова К.Д. Экологические аспекты интродукции и использования растений рода *Amaranthus*. Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "КноРус", 2019. 162 с.
- 5 Муссие С.А., Косолапова В.Г. Оценка химического состава различных сортов люцерны // Всероссийская с международным участием научная конференция молодых ученых и специалистов, посвященная 155-летию со дня рождения Н.Н. Худякова: материалы Всероссийской с международным участием научной конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 155-летию со дня рождения Н.Н. Худякова, Москва, 07–09 июня 2021 года. Том 1. Москва: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2021. С. 58–61.
- 6 Дзанагов Т.С. Химический состав зеленой массы амаранта в зависимости от удобрений // Научные труды студентов Горского государственного аграрного университета" Студенческая наука-агропромышленному комплексу". 2020. С. 21–23.
- 7 Yang Y. et al. 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). С. 95–100. doi: 10.33979/2219–8466–2021–69–4–95–100
- 9 Косолапова В.Г., Муссие С.А. Питательная ценность люцерны различных сортов в процессе роста и развития // Кормопроизводство. 2020. № 10. С. 17–24.
- 10 Дашдамиров К.Ш., Амиров Ш.А., Аббасова Т.Ю., Керимова Т.К. Исследование белкового состава амаранта выращиваемых в условиях Азербайджана // Актуальные научные исследования в современном мире. 2019. № 2–2(46). С. 105–107.
- 11 Хошимжонова Н. Амарант–как нетрадиционная культура многоцелевого использования // Science and Education. 2020. Т. 1. №. 6. С. 27–34.
- 12 Фарниев А.Т. Урожайность и качество зеленой массы бобовых трав и амаранта // Инновационные технологии в апк: теория и практика. 2021. С. 240–244.
- 13 Бибииков С.О., Николаев С.И. Амарант–перспективная культура для кормления животных // Эффективное животноводство. 2023. №. 5 (187). С. 38–39.
- 14 Бекузарова С.А., Дзампаева М.В. Качественные показатели нетрадиционных кормовых культур // Инновационные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции. 2019. С. 63–66.
- 15 Hoang L.H. et al. Physiological and phytochemical responses of red amaranth (*Amaranthus tricolor* L.) and green amaranth (*Amaranthus dubius* L.) to different salinity levels // Legume Research-An International Journal. 2020. V. 43. №. 2. P. 206–211.
- 16 Peng H. et al. Effects of body size and root to shoot ratio on foliar nutrient resorption efficiency in *Amaranthus mangostanus* // American Journal of Botany. 2019. V. 106. №. 3. P. 363–370.
- 17 Адыгезалов, А.М. Объективная возможность замены зерновых на зерна амаранта в кормлении растущих птиц // Инновационные направления в химизации земледелия и сельскохозяйственного производства: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием и Всероссийской школы молодых ученых (19–21 июня 2019 г.). Белгород: ООО «Принт», 2019. С. 538–544.
- 18 Морозов В.С. Федеральная научно-технологическая программа развития сельского хозяйства на 2017–2025 годы // Матер. докл. Междунар. конгресса по кормам: XXIV Междунар. специализир. торгово-промышленная выставка «MVC: Зерно-Комбикорма-Ветеринария-2019». М., 2019.
- 19 Басова Е.А. и др. Повышение содержания аминокислот в комбикормах при выращивании перепелов // Главный зоотехник. 2019. №. 5. С. 17–24.
- 20 Исмагова Ш.Н., Исабаев И.Б., Атамуратова Т.И. Биологическая ценность перспективного сырья для комбикормов // Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции. 2019. С. 233–238.

References

- 1 Gawel E., Grzelak M. Protein from lucerne in animals supplement diet. *Journal of Food Agriculture and Environment*. 2014. vol. 12. no. 2. pp. 314–319.
- 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 Isupov A.N., Lozhkina L.A., Belosludtsev D.V. The influence of lime from various deposits of the Udmurt Republic on the yield and chemical composition of red clover. *Current state and innovative ways of development of agriculture, land reclamation and soil erosion protection*. Izhevsk, Izhevsk State Agricultural Academy, 2022. pp. 16–20. (in Russian).
- 4 Kulikov Yu.A., Sagitov R.N., Matrosova K.D. Ecological aspects of the introduction and use of plants of the genus *Amaranthus*. Moscow, Limited Liability Company "Publishing House "KnoRus", 2019. 162 p. (in Russian).
- 5 Mussie S.A., Kosolapova V.G. Assessment of the chemical composition of various varieties of alfalfa. All-Russian scientific conference of young scientists and specialists with international participation, dedicated to the 155th anniversary of the birth of N.N. Khudyakov. Moscow, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after. K.A. Timiryazeva, 2021. pp. 58–61. (in Russian).
- 6 Dzanagov T.S. Chemical composition of green mass of amaranth depending on fertilizers. *Scientific works of students of the Mountain State Agrarian University "Student's science-agro-industrial complex"*. 2020. pp. 21–23. (in Russian).
- 7 Yang Y. et al. 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 Kosolapova V.G., Mussie S.A. Nutritional value of alfalfa of various varieties in the process of growth and development. *Feed production*. 2020. no. 10. pp. 17–24. (in Russian).
- 10 Dashdamirov K.Sh., Amirov Sh.A., Abbasova T.Yu., Kerimova T.K. Study of the protein composition of amaranth grown in Azerbaijan. *Current scientific research in the modern world*. 2019. no. 2–2(46). pp. 105–107. (in Russian).
- 11 Khoshimzhonova N. Amaranth as a non-traditional crop of multi-purpose use. *Science and Education*. 2020. vol. 1. no. 6. pp. 27–34. (in Russian).
- 12 Farniev A.T. Productivity and quality of green mass of legumes and amaranth. *Innovative technologies in agriculture: theory and practice*. 2021. pp. 240–244. (in Russian).
- 13 Bibikov S.O., Nikolaev S.I. Amaranth is a promising crop for animal feeding. *Effective animal husbandry*. 2023. no. 5 (187). pp. 38–39. (in Russian).
- 14 Bekuzarova S.A., Dzampaeva M.V. Qualitative indicators of non-traditional forage crops. *Innovative technologies for production and processing of agricultural products*. 2019. pp. 63–66. (in Russian).
- 15 Hoang L.H. et al. Physiological and phytochemical responses of red amaranth (*Amaranthus tricolor* L.) and green amaranth (*Amaranthus dubius* L.) to different salinity levels. *Legume Research-An International Journal*. 2020. vol. 43. no. 2. pp. 206–211.
- 16 Peng H. et al. Effects of body size and root to shoot ratio on foliar nutrient resorption efficiency in *Amaranthus mangostanus*. *American Journal of Botany*. 2019. vol. 106. no. 3. pp. 363–370.
- 17 Adygezalov, A.M. Objective possibility of replacing cereals with amaranth grains in feeding growing birds. *Innovative directions in the chemicalization of agriculture and agricultural production: materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation and the All-Russian school of young scientists (June 19–21, 2019)*. Belgorod, Print LLC, 2019. pp. 538–544. (in Russian).
- 18 Morozov V.S. Federal scientific and technological program for the development of agriculture for 2017–2025. *Mater. report Intl. Feed Congress: XXIV International. specialist trade and industrial exhibition "MVC: Grain-Compounded Feed-Veterinary 2019"*. M., 2019. (in Russian).
- 19 Basova E.A. et al. Increasing the content of amino acids in compound feeds when growing quails. *Chief Zootechnician*. 2019. no. 5. pp. 17–24. (in Russian).
- 20 Ismatova Sh.N., Isabaev I.B., Atamuratova T.I. Biological value of promising raw materials for compound feeds. *Modern aspects of production and processing of agricultural products*. 2019. pp. 233–238. (in Russian).

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

 <https://orcid.org/0000-0002-7051-9858>

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 junior researcher, laboratory of metagenomics and food biotechnologies, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, bond.vrn15@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7051-9858>

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.

Tatiana V. Sviridova Cand. Sci. (Biol.), 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. (Biol.), 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. (Biol.), 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 30/03/2023

После редакции 26/04/2023

Принята в печать 18/05/2023

Received 30/03/2023

Accepted in revised 26/04/2023

Accepted 18/05/2023

Конопляный белок: получение и функционально-технологические свойства

Ольга С. Корнеева	¹	korneeva-olgas@ya.ru	 0000-0002-2863-0771
Людмила И Василенко	¹	vli2008@ya.ru	 0000-0003-4038-0549
Ольга Л. Мещерякова	¹	gawshina@mail.ru	 0000-0002-7832-8220
Алексей А. Берестовой	¹	berestovoy_1991@mail.ru	 0000-0003-2255-9414
Мария М. Исува	²	mawysta@mail.ru	

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

² Воронежский государственный медицинский университет имени Н.Н. Бурденко, Студенческая улица 10, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Цель этой работы состояла в том, чтобы определить структурные и функциональные характеристики двух основных белков семян конопли, водорастворимого альбумина и растворимого в соли глобулина и щелочерастворимого глютелина. Экстракт 0.1 М CaCl₂ белковой муки семян конопли подвергали последовательному экстрагированию с получением трех фракций: альбумина в водной фазе и глобулина (эдестина) и глютелина в солевой при значении pH-9.0. Данные по аминокислотному составу показали наличие повышенного содержания ароматических и гидрофобных остатков в глобулиновой фракции. Гель-электрофорез показал, что альбуминовая фракция имеет меньше дисульфидных связей и, следовательно, более открытую (гибкую) структуру. Проведен анализ содержания незаменимых аминокислот в изоляте и УФ-концентрате белка и его отдельных фракциях для общего понимания путей их применения. Баланс содержания аминокислот в УФ концентрате близок к «идеальному белку» и в дальнейшем для выделения биоактивных пептидов целесообразно использовать его. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют, что процессы механического и химического воздействия на конопляную муку обеспечивают получение сырья с высоким содержанием белка, содержащего все незаменимые аминокислоты и характеризующегося преобладающим содержанием суммы водо и солерастворимых фракций. В связи с выявленными изменениями свойств белка, полученного разными способами по освобождению от антипитательных веществ в дальнейшем, планируется обратить внимание на этот вопрос отдельно.

Ключевые слова: конопляный белок, изолят белка, экстракция, ультрафильтрация, фракционирование белков, электрофорез.

Hemp protein: obtaining and functional and technological properties

Olga S. Korneeva	¹	korneeva-olgas@ya.ru	 0000-0002-2863-0771
Ludmila I. Vasilenko	¹	vli2008@ya.ru	 0000-0003-4038-0549
Olga L. Meshcheryakova	¹	gawshina@mail.ru	 0000-0002-7832-8220
Alexey A. Berestovoy	¹	berestovoy_1991@mail.ru	 0000-0003-2255-9414
Maria M. Isuwa	²	mawysta@mail.ru	

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

² Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko, Studenetskaya street 10, Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The aim of this work was to determine the structural and functional characteristics of the two main hemp seed proteins, water-soluble albumin and salt-soluble globulin and alkali-soluble glutelin. The extract of 0.1 M CaCl₂ protein meal of hemp seeds was subjected to sequential extraction to obtain three fractions: albumin in the aqueous phase and globulin (edestin) and glutelin in the salt phase at pH-9.0. Data on the amino acid composition showed the presence of an increased content of aromatic and hydrophobic residues in the globulin fraction. Gel electrophoresis showed that the albumin fraction had fewer disulfide bonds and therefore a more open (flexible) structure. The analysis of the content of essential amino acids in protein isolate and UV concentrate and its individual fractions was carried out for a general understanding of the ways of their application. The balance of amino acid content in the UV concentrate is close to the “ideal protein” and in the future it is advisable to use it to isolate bioactive peptides. Thus, the results obtained indicate that the processes of mechanical and chemical action on hemp flour provide raw materials with a high protein content, containing all essential amino acids and characterized by a predominant content of the sum of water and salt-soluble fractions. In connection with the identified changes in the properties of the protein obtained by different methods for release from antinutrients in the future, it is planned to pay attention to this issue separately.

Keywords: hemp squirrel, protein isolate, extraction, ultrafiltration, protein fractionation, electrophoresis.

Для цитирования

Корнеева О.С., Василенко Л.И., Мещерякова О.Л., Берестовой А.А., Исува М.М. Конопляный белок: получение и функционально-технологические свойства // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 2. С. 170–177. doi:10.20914/2310-1202-2023-2-170-177

For citation

Korneeva O.S., Vasilenko L.I., Meshcheryakova O.L., Berestovoy A.A., Isuwa M.M. Hemp protein: obtaining and functional and technological properties. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 2. pp. 170–177. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-2-170-177

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

Введение

Население мира в настоящее время (2021 г.) растет примерно 1,09% в год и, по прогнозам, к 2100 году достигнет 11,2 млрд. Нехватка пищевого белка является не только экономической, но и социально-медицинской проблемой современного мира, поскольку наличие или отсутствие сбалансированного по белку рациона не даёт нормально развиваться биологическому организму. Для решения этой проблемы необходим научный подход к исследованию возможных альтернатив высококачественных растительных белков, являющихся альтернативой животным белкам и не уступающим им по биологическим функциям. В результате мирового литературного обзора выявлены недооцененные растительные культуры, на основе которых методом биокатализа можно получить биологически полноценные пищевые белки и активные пептиды. В настоящее время повышенное внимание уделяется ревалоризации побочных продуктов пищевой промышленности, в особенности их альтернатив и возможности использования. Поэтому получение альтернативных пищевых белков на основе вторичного масличного сырья технической конопли будет востребовано в ближайшей перспективе [6].

Давно заброшенной культурой, но при этом обладающей уникальным биостатусом является конопля. Кроме того, семена конопли содержат в своем составе до 21% белка, концентрация которого после холодного отжима масла увеличивается в шроте до 38–39,5%. По этой причине усилился интерес к производству конопли за рубежом.

Из высокобелковой конопляной муки был выделен и идентифицирован, богатый метионином и цистином белок (10 кДа) [7]. В изоляте белка конопли (НРІ) эдестин составляет порядка 60% от общего содержания белка конопли [3]. Есть данные [5] о полезности белка глобулина (эдестина и эдестана) из конопляного семени. Сообщается, что физико-химические и функциональные свойства (особенно растворимость белка) изолята конопляного белка хуже по сравнению с изолятом соевого белка [3]. Хотя конопляный белок имеет хороший потенциал для применения в качестве источника белкового питания, но он демонстрирует гораздо функциональные свойства, особенно растворимость белка, по сравнению с изолятом соевого белка [3]. Плохие функциональные свойства могут сильно ограничить применение этого белка во многих рецептурах пищевых продуктов. Для решения

данной проблемы возможно применение мягких способов выделения белка, ферментативной и физической модификации изолята конопляного белка для улучшения его функциональных свойств, а также повышения его биологической активности.

Таблица 1.

Состав высокобелковой конопляной муки

Table 1.

Composition of high-protein hemp flour

Показатель Index	Содержание Value
Массовая доля белка, % Mass fraction of protein, %	47,22
Массовая доля жира, % Mass fraction of fat, %	13,1
Массовая доля углеводов, % Mass fraction of carbohydrates, %	21,4
Зольность (общая зола), % Ash content (total ash), %	9,63
Влажность, % Humidity, %	8,9
Кальций, мг/кг Calcium, mg/kg	3430
Фосфор, мг/кг Phosphorus, mg/kg	23900
Магний, мг/кг Magnesium, mg/kg	9500
Калий, мг/кг Potassium, mg/kg	14800
Железо, мг/кг Iron, mg/kg	277

Обычно ферментативная модификация предпочтительнее из-за более мягких условий процесса, более легкого контроля реакции и минимального образования побочных продуктов [4].

Выделение белка из объектов исследований электрофоретическим методом показало, что он представлен в основном 3–4 фракциями белка с высокой молекулярной массой с различной растворимостью (альбуминами, глобулинами, проламинами, глютелинами и их комплексами, включая нерастворимый белок). Такое массовое распределение белка свидетельствует о вероятности его осаждения в большом количестве в изoeлектрической точке для получения концентрированных белковых препаратов.

Цель работы – исследование влияния способов экстракции и получения на свойства белка конопляной муки

Материалы и методы

Обезжиренная конопляная мука, полученная холодным прессованием, предоставленная ООО «Макошь», дистиллированная вода, NaOH, 0.1 М, CaCl₂ 0.1 М, 0.1 М HCl фитаза TOLERASE™ P 20000G, ООО Банком Белград, Сербия.

При фракционном разделении конопляного белка в качестве экстрагентов использовались вода, 0.1 М раствор CaCl₂ и 0.1 М раствор NaOH.

Затем фракцию, экстрагируемую щелочью, нейтрализуют 0,1 М HCl до pH-6.8–7.0, а фракцию подвергнутую солевой экстракции разбавляют водой в соотношении 1:3. Для получения концентрата белковых фракций их подвергают ультрафильтрации на лабораторной установке ультрафильтрации Водопад УМТКп – 1. Для водной и солевой экстракции подвергали мембранной ультрафильтрации / диафильтрации с использованием мембраны с отсечкой по молекулярной массе 0.14 мкм, а для щелочной фракции 1.4 мкм.

Определение молекулярной массы полученных фракций осуществляли методом SDS-ПААГ электрофореза. При выполнении эксперимента были использованы следующие реактивы: 30%-ный раствор акриламида; 10%-ный раствор DS-NA; 2М ТРИС-HCl (pH 8,8); 1М ТРИС-HCl (pH 6,8); 1%-ный раствор персульфата аммония; 0,5%-ный раствор бромфенолового синего; 2N раствор соляной кислоты; глицин; 2-меркаптоэтанол; кумасси R-250; кумасси G-250; этиловый спирт; ледяная уксусная кислота.

Изучение влияния pH на выход белка и молекулярную массу полученных фракций белка конопли проводили в диапазоне pH от 6.0 до 10.0.

Определение аминокислотного состава полученных фракций белка конопли осуществляли по ГОСТ 32195–2013 (ISO 13903:2005). [7]

Содержание белка определяли с помощью комплекта оборудования по Кьельдалю на базе АКВ-20 (Виллитек, Россия) с коэффициентом пересчета 6,25. Жиры, зола и влагасодержание было определено в соответствии с официальными процедурами АОАС (АОАС, 2019 г.).

Получение белкового изолята из конопляной муки

В качестве объекта исследования в данной работе была использована обезжиренная конопляная мука, полученная при холодном отжиме масла. Муку дополнительно измельчали на молотковой дробилке и просеивали через сито № 1 с размером ячейки 1,0 мм. Степень измельчения оказывает непосредственное влияние на скорость экстракции и гидролиза. Чем мельче помол, тем эффективнее и быстрее идет процесс биодegradации сложных углеводов.

Для получения изолята белка, обезжиренная мука заливалась дистиллированной водой гидро-модуль 1:8. Далее, методом известным как мицеллизация, основанном на способности белков образовывать агрегаты с мицеллярной структурой осуществлялось непосредственное извлечение белков из раствора. Это происходит за счет уменьшения ионной силы раствора,

в котором они солюбилизированы [3]. В соответствии с описанным методом мицеллизации были экстрагированы белки из обезжиренной муки 0,1 М раствором CaCl₂ при pH 7 в течение 1 ч при температуре 37 °С. Концентрат перемешивали в течение 2 ч при температуре 25 °С, затем, раствор центрифугировали при частоте вращения 7000 с⁻¹, в течение 5 минут, затем осаждали 0,1 М HCl в изoeлектрической точке и снова центрифугировали, осадок промывали дистиллированной водой, а затем осуществляли сублимационную сушку.

Получение УФ концентрата конопляного белка

Обезжиренную конопляную муку измельчали на молотковой дробилке и просеивали через сито № 1 с размером ячейки 1,0 мм. Затем, подвергали гидролизу фитиновой кислоты с использованием фитазы TOLERASE™ Р 20000G, ООО Банком Белград, Сербия, гидро-модуль 1:8 при 55 °С, 60 мин. Затем pH среды доводился до требуемых значений (таблица 2) и еще 60 минут осуществлялось экстрагирование

После гидролиза смесь кратковременно нагревалась до 90 °С с целью инактивации ферментов и направлялась на центрифугирование в центробежном сепараторе при частоте вращения 3500 с⁻¹ в течение 5 минут. Полученный супернатант концентрировали ультрафильтрацией используя каскад из мембран 1,4 и 0,14 мкм, а затем разбавляли 1:10 дистиллированной водой и отправляли на распылительную сушку.

Результаты

В результате последовательной экстракции различными экстрагентами общая масса полученных белков составила 36,8% от количества исходного сырья. Содержание альбуминов, глобулинов и глютенинов составило 11,4, 22,08, и 3,68 г. на 100 г. муки соответственно. Самой объемной фракцией конопляного белка выявлена глобулиновая (эдестин), содержание альбуминовой фракции соответствовало литературным данным, кроме того, выявлено достаточно высокое содержание глютениновой фракции, в количестве 10% от общего белка.

В процессе получения изолятов и концентратов белков из конопляной муки были получены белки, сильно отличающиеся внешне (рисунк 2, 3).

Разница в органолептических показателях двух приведенных продуктов, обусловлена переходом гидролизованной фитиновой кислоты в пермеат при ультрафильтрации и практически

полном освобождении от нее, полученного белкового концентрата. В случае получения изолята, она частично связывается с белковыми веществами, образуя нерастворимые комплексы

с катионами и переходит в целевой продукт, что не только ухудшает его функционально-технологические свойства, но и снижает пищевую ценность и усвояемость.



Рисунок 1. Изолят белка конопляной муки
Figure 1. Hemp flour protein isolate

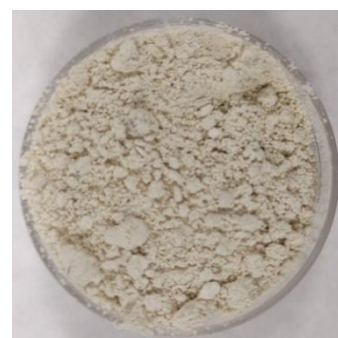


Рисунок 2. Концентрат из конопляной муки, полученный с использованием ультрафильтрации
Figure 2. Hemp flour concentrate obtained using ultrafiltration

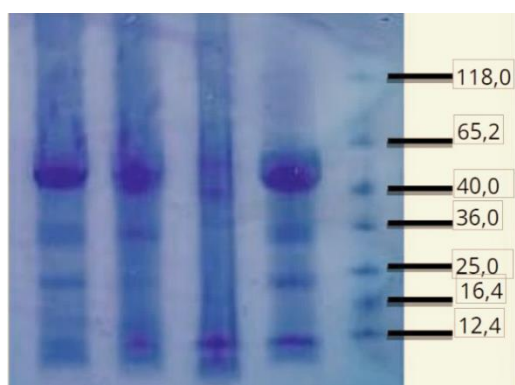


Рисунок 3. Полипептидный состав белковых продуктов семян конопли в невосстанавливающих условиях электрофореза в полиакриламидном геле с додецилсульфатом натрия: 1 – коммерческий белковый концентрат семян конопли; 2 – осажденный изолят белка семян конопли; 3 – УФ-концентрат белковой муки; 4 – белковая мука из семян конопли

Figure 3. Polypeptide composition of hemp seed protein products under non-reducing and electrophoresis conditions in polyacrylamide gel with sodium dodecyl sulfate: 1 – commercial hemp seed protein concentrate; 2 – precipitated hemp seed protein isolate; 3 – UV-concentrate of protein meal; 4 – protein flour from hempseeds

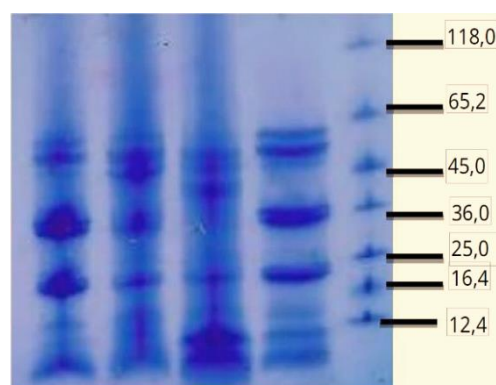


Рисунок 4. Полипептидный состав белковых продуктов семян конопли в восстанавливающих условиях электрофореза в полиакриламидном геле с додецилсульфатом натрия: 1 – коммерческий белковый концентрат семян конопли; 2 – осажденный изолят белка семян конопли; 3 – УФ-концентрат белковой муки; 4 – белковая мука из семян конопли

Figure 4. Polypeptide composition of protein products of hemp seeds under reducing conditions of electrophoresis in polyacrylamide gel with sodium dodecyl sulfate: 1 – commercial protein concentrate of hemp seeds; 2 – precipitated hemp seed protein isolate; 3 – UV-concentrate of protein meal; 4 – protein flour from hemp seeds

Обсуждение

Невосстанавливающие профили SDS-PAGE показали, что полоса 47 кДа содержит основной полипептид в продукте под номером 1 (рисунок 1). Другие полипептиды с более низкой интенсивностью полосы проявляются в полосах 12, 25 и 36 кДа. Однако полосы 25 и 35 кДа, по-видимому, отсутствуют в продукте, полученном с использованием мембранных технологий (номер 3). Сходство полипептидного состава образцов 1, 2 и 4 указывает на то, что методы обработки,

использованные для белковых продуктов, экстрагировали сходные белки из цельных семян. Напротив, продукт, полученный с использованием мембранных технологий имел несколько иной полипептидный состав, что позволяет предположить, что процесс мембранной ультрафильтрации приводил к сохранению более высоких значений полипептидов 12 и 47 кДа и, следовательно, меньшей интенсивности белков 25 и 36 кДа.

Простые белки классифицируются на основе дифференциальной растворимости каждой

фракции как в воде, так и в растворах неорганических растворителей. Альбуминовую фракцию получают путем суспендирования в воде, глобулиновую – в разбавленных солевых растворах, проламины представляют собой спирторастворимую фракцию, а глютелины – это наиболее труднорастворимая фракция и экстрагируется слабощелочными растворами [1]. В случае с конопляной мукой наличие проламинов при экстрагировании выявлено не было.

Величина pH при экстракции существенно влияет на выход белка. В связи с этим, экстракцию проводили, используя в качестве экстрагентов воду и раствор CaCl_2 при значениях pH от 6.0 до 10.0. Слабокислые растворы для экстрагирования не использовались, так как для преобладающих в конопляном белке глобулинов значение изоэлектрической точки лежит в районе 5.6–5.8 ед., что может привести к их преждевременному выпадению в осадок.

В таблице 2 представлены результаты экстрагирования отдельных фракций белков при разных значениях pH.

Таблица 2.
Фракционирование белка конопли
с использованием различных экстрагентов

Table 2.
Fractionation of hemp protein using various
extractants

Фракция белка Protein fraction	Экстрагент Extractant	Масса белка, г/100 г. муки при pH Protein weight, g/100 g.				
		6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
Альбумины Albumin	Вода Water	7.3	8.50	10.8	11.4	12.0
Глобулины Globulins	0,1 M CaCl_2	15,8	16.4	20,08	22.8	23.2
Глютелины Glutelins	0,1 M NaOH	-	1.83	2.81	3.68	3.70

Интенсивная окраска, наблюдаемая в водных экстрактах выше pH 9, вероятнее всего обусловлена солюбилизацией и окислением фенольных соединений, концентрация которых увеличилась примерно в семь раз от pH 6 до 10. При самом высоком применяемом pH от 11 до 12 (в таблице не рассматривается) образование ковалентных комплексов между фенольными соединениями и некоторые полипептиды конопли становятся нерастворимыми, что ухудшает ее функциональные и органолептические свойства.

Аминокислотный состав был проанализирован для оценки белкового концентрата, изолята и фракционированных белков конопли и возможного влияния аминокислотного профиля на биоактивность продуктов.

Таблица 3.
Аминокислотный состав белка конопли, %

Table 3.
Amino acid composition of hemp protein, %

Аминокислота Amino acid	УФ-концентрат белка UV protein acetate	Изолят белка Protein isolate	Альбумины Albumin	Глобулины Globulins	Глютелины Glutelins
Ala	4,19	3,81	3,91	2,84	1,22
Arg	13,20	15,06	12,82	16,7	3,35
Asp	10,78	11,31	7,01	9,47	2,97
Gln	18,48	19,10	20,07	20,7	10,9
Gly	4,67	4,31	8,26	-	4,01
His	3,48	3,26	3,68	2,4	2,7
Ile	3,59	3,63	2,02	4,7	4,9
Leu	6,87	6,46	4,05	6,5	7,73
Lys	6,94	2,73	7,37	3,69	4,09
Met + Cys	3,8	3,17	1,74	2,9	0,39
Phe + Tyr	7,72	8,33	3,34	9,79	6,68
Pro	4,37	4,30	3,82	4,25	3,87
Ser	5,6	5,58	5,12	1,48	5,73
Thr	3,75	3,42	4,63	3,85	2,60
Val	4,69	4,66	2,90	6,5	3,41

Данные по аминокислотному составу показывают, что в целом аминокислотный состав альбуминовой фракции был сравним с таковым у глобулиновой лишь с некоторыми небольшими отличиями (таблица 3). Например, глобулин имеет более высокое содержание серосодержащих аминокислот, особенно метионина, по сравнению с альбумином. Общеизвестно, что белки семян бобовых бедны серосодержащими аминокислотами, но наши результаты показывают, что фракция глобулина может быть лучшим источником этой аминокислоты, если ее использовать отдельно. Во фракции глобулина также было больше гидрофобных и ароматических аминокислот, что могло способствовать усилению межбелковых взаимодействий между полипептидными цепями.

Закключение

Потенциальное использование изолятов и концентратов белка в значительной степени зависит от их физико-химических и функциональных свойств, при этом большое влияние оказывает усвояемость белка.

Конопляный белок по отдельным фракциям является неполноценным, так как, хотя он содержит все незаменимые аминокислоты, некоторые из них обладают ненадлежащим качеством, чтобы обеспечить допустимый минимум незаменимых питательных веществ для человека; лимитирующей аминокислотой в конопле обычно является лизин, при этом лейцин и L-триптофан представляют собой вторую и третью лимитирующие аминокислоты. При экстракции глобулиновой фракции зафиксировано, что глицин не переходит в экстракт, а предположительно, остается в альбуминовой фракции, также снижается содержание треонина. Но за счет совокупности фракций его биологическая ценность повышается. Баланс содержания

аминокислот в УФ концентрате гораздо ближе к «идеальному белку» и в дальнейшем для выделения биоактивных пептидов целесообразно использовать его.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют, что процессы механического и химического воздействия на конопляную муку обеспечивают получение сырья с высоким содержанием белка, содержащего все незаменимые аминокислоты и характеризующегося преобладающим содержанием суммы воды и растворимых фракций.

В связи с выявленными изменениями свойств белка, полученного разными способами по освобождению от антипитательных веществ в дальнейшем, планируется обратить внимание на этот вопрос отдельно.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-26-00277 «Альтернативные протеины: влияние структуры на функционально-технологические свойства и биологические функции»)

Литература

- 1 Ушаповский В.И., Гончарова А.А., Миневич И.Э. Влияние переработки на белковый комплекс семян конопли // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 1. С. 66–72. doi:10.20914/2310-1202-2022-1 – 66–72
- 2 Pap N., Hamberg L., Pihlava J.M., Hellström J. et al. Impact of enzymatic hydrolysis on the nutrients, phytochemicals and sensory properties of oil hemp seed cake (*Cannabis sativa* L. FINOLA variety) // Food Chemistry. 2020. V. 320. P. 126530. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.126530
- 3 Aiello G., Lammi C., Boschin G., Zaroni C. et al. Exploration of potentially bioactive peptides generated from the enzymatic hydrolysis of hempseed proteins // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2017. № 65. P. 10174–10184.
- 4 Grebenshchikov A.V., Vasilenko L.I., Ozherelyeva O.N., Mal'tseva O.U. et al. The Biogenic Stimulator for Nonspecific Immunity Provocation in the Experiment “in vivo” in the Stress Condition // The International Conference “Health and wellbeing in modern society”(ICHW 2020). Atlantis Press, 2020. P. 6-11. doi: 10.2991/ahsr.k. 201001.002
- 5 Pihlanto A., Nurmi M., Mäkinen S. Industrial hemp proteins: Processing and properties // Industrial Hemp. Academic Press, 2022. P. 125-146. doi: 10.1016/B978-0-323-90910-5.00014-2
- 6 Кабунина И.В. Современная структура мирового рынка производства конопли // Международный сельскохозяйственный журнал. 2021. № 64 (4). С. 40–44.
- 7 ГОСТ 13496.4–93 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения азота и сырого протеина (Докипедия: Межгосударственный стандарт ГОСТ 8056–96 "Шрот соевый пищевой. Технические условия" (введен в действие постановлением Государственного Комитета РФ по стандартизации, метрологии и сертификации от 24 декабря 1996 г. № 688)).
- 8 Lin Y., Pangloli P., Dia V. P. Physicochemical, functional and bioactive properties of hempseed (*Cannabis sativa* L.) meal, a co-product of hempseed oil and protein production, as affected by drying process // Food Chemistry. 2021. V. 350. P. 129188. doi: 10.1016/j.foodchem.2021.129188
- 9 Koren A., Pojić M., Sikora V. The significance of industrial hemp knowledge management // Industrial Hemp. Academic Press, 2022. P. 147-172. doi: 10.1016/B978-0-323-90910-5.00004-X
- 10 Korus J., Witczak M., Ziobro R., Juszczak L. Hemp (*Cannabis sativa* subsp. *sativa*) flour and protein preparation as natural nutrients and structure forming agents in starch based gluten-free bread // LWT. 2017. V. 84. P. 143-150. doi: 10.1016/j.lwt.2017.05.046
- 11 Shen P., Gao Z., Fang B., Rao J. et al. Ferretting out the secrets of industrial hemp protein as emerging functional food ingredients // Trends in Food Science & Technology. 2021. V. 112. P. 1-15. doi: 10.1016/j.tifs.2021.03.022
- 12 Malomo S.A., He R., Aluko R.E. Structural and functional properties of hemp seed protein products // Journal of food science. 2014. V. 79. №. 8. P. C1512-C1521. doi: 10.1111/1750-3841.12537
- 13 Wang Q., Xiong Y.L. Processing, nutrition, and functionality of hempseed protein: A review // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2019. V. 18. №. 4. P. 936-952. doi: 10.1111/1541-4337.12450
- 14 Zając M., Guzik P., Kulawik P., Tkaczewska J. et al. The quality of pork loaves with the addition of hemp seeds, dehulled hemp seeds, hemp protein and hemp flour // Lwt. 2019. V. 105. P. 190-199. doi: 10.1016/j.lwt.2019.02.013
- 15 Shen P., Gao Z., Xu M., Ohm J. B. et al. The impact of hempseed dehulling on chemical composition, structure properties and aromatic profile of hemp protein isolate // Food Hydrocolloids. 2020. V. 106. P. 105889. doi: 10.1016/j.foodhyd.2020.105889
- 16 Mamone G., Picariello G., Ramondo A., Nicolai M.A. et al. Production, digestibility and allergenicity of hemp (*Cannabis sativa* L.) protein isolates // Food Research International. 2019. V. 115. P. 562-571. doi:10.1016/j.foodres.2018.09.017
- 17 Potin F., Lubbers S., Husson F., Saurel R. Hemp (*Cannabis sativa* L.) protein extraction conditions affect extraction yield and protein quality // Journal of food science. 2019. V. 84. №. 12. P. 3682-3690. doi: 10.1111/1750-3841.14850
- 18 Wang Q., Xiong Y.L. Zinc-binding behavior of hemp protein hydrolysates: Soluble versus insoluble zinc-peptide complexes // Journal of functional foods. 2018. V. 49. P. 105-112. doi: 10.1016/j.jff.2018.08.019
- 19 Plati F., Ritzoulis C., Pavlidou E., Paraskevopoulou A. Complex coacervate formation between hemp protein isolate and gum Arabic: Formulation and characterization // International Journal of Biological Macromolecules. 2021. V. 182. P. 144-153. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2021.04.003
- 20 Dapčević-Hadnadev T., Dizdar M., Pojić M., Krstonošić V. et al. Emulsifying properties of hemp proteins: Effect of isolation technique // Food Hydrocolloids. 2019. V. 89. P. 912-920. doi: 10.1016/j.foodhyd.2018.12.002

References

- 1 Ushchapovsky V.I., Goncharova A.A., Minevich I.E. The influence of processing on the protein complex of hemp seeds. *Proceedings of VSUET*. 2022. vol. 84. no. 1. pp. 66–72. doi:10.20914/2310-1202-2022-1 – 66–72 (in Russian).
- 2 Pap N., Hamberg L., Pihlava J.M., Hellström J. et al. Impact of enzymatic hydrolysis on the nutrients, phytochemicals and sensory properties of oil hemp seed cake (*Cannabis sativa* L. FINOLA variety). *Food Chemistry*. 2020. vol. 320. pp. 126530. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.126530
- 3 Aiello G., Lammi C., Boschin G., Zandoni C. et al. Exploration of potentially bioactive peptides generated from the enzymatic hydrolysis of hempseed proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2017. no. 65. pp. 10174–10184.
- 4 Grebenshchikov A.V., Vasilenko L.I., Ozherelyeva O.N., Mal'tseva O.U. et al. The Biogenic Stimulator for Nonspecific Immunity Provocation in the Experiment “in vivo” in the Stress Condition. The International Conference “Health and wellbeing in modern society” (ICHW 2020). Atlantis Press, 2020. pp. 6-11. doi: 10.2991/ahsr.k. 201001.002
- 5 Pihlanto A., Nurmi M., Mäkinen S. Industrial hemp proteins: Processing and properties. *Industrial Hemp*. Academic Press, 2022. pp. 125-146. doi: 10.1016/B978-0-323-90910-5.00014-2
- 6 Kabunina I.V. Modern structure of the world hemp production market. *International Agricultural Journal*. 2021. no. 64 (4). pp. 40–44. (in Russian).
- 7 GOST 13496.4–93 Feed, compound feed, compound feed raw materials. Methods for determining nitrogen and crude protein (Dokipedia: Interstate standard GOST 8056–96 “Soybean meal for food. Technical conditions” (put into effect by the Decree of the State Committee of the Russian Federation for Standardization, Metrology and Certification dated December 24, 1996 No. 688)). (in Russian).
- 8 Lin Y., Pangloli P., Dia V. P. Physicochemical, functional and bioactive properties of hempseed (*Cannabis sativa* L.) meal, a co-product of hempseed oil and protein production, as affected by drying process. *Food Chemistry*. 2021. vol. 350. pp. 129188. doi: 10.1016/j.foodchem.2021.129188
- 9 Koren A., Pojić M., Sikora V. The significance of industrial hemp knowledge management. *Industrial Hemp*. Academic Press, 2022. pp. 147-172. doi: 10.1016/B978-0-323-90910-5.00004 X
- 10 Korus J., Witczak M., Ziobro R., Juszczak L. Hemp (*Cannabis sativa* subsp. *sativa*) flour and protein preparation as natural nutrients and structure forming agents in starch based gluten-free bread. *LWT*. 2017. vol. 84. pp. 143-150. doi: 10.1016/j.lwt.2017.05.046
- 11 Shen P., Gao Z., Fang B., Rao J. et al. Ferretting out the secrets of industrial hemp protein as emerging functional food ingredients. *Trends in Food Science & Technology*. 2021. vol. 112. pp. 1-15. doi: 10.1016/j.tifs.2021.03.022
- 12 Malomo S.A., He R., Aluko R.E. Structural and functional properties of hemp seed protein products. *Journal of food science*. 2014. vol. 79. no. 8. pp. C1512-C1521. doi: 10.1111/1750-3841.12537
- 13 Wang Q., Xiong Y.L. Processing, nutrition, and functionality of hempseed protein: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2019. vol. 18. no. 4. pp. 936-952. doi: 10.1111/1541-4337.12450
- 14 Zając M., Guzik P., Kulawik P., Tkaczewska J. et al. The quality of pork loaves with the addition of hemp seeds, dehulled hemp seeds, hemp protein and hemp flour. *Lwt*. 2019. vol. 105. pp. 190-199. doi: 10.1016/j.lwt.2019.02.013
- 15 Shen P., Gao Z., Xu M., Ohm J. B. et al. The impact of hempseed dehulling on chemical composition, structure properties and aromatic profile of hemp protein isolate. *Food Hydrocolloids*. 2020. vol. 106. pp. 105889. doi: 10.1016/j.foodhyd.2020.105889
- 16 Mamone G., Picariello G., Ramondo A., Nicolai M.A. et al. Production, digestibility and allergenicity of hemp (*Cannabis sativa* L.) protein isolates. *Food Research International*. 2019. vol. 115. pp. 562-571. doi:10.1016/j.foodres.2018.09.017
- 17 Potin F., Lubbers S., Husson F., Saurel R. Hemp (*Cannabis sativa* L.) protein extraction conditions affect extraction yield and protein quality. *Journal of food science*. 2019. vol. 84. no. 12. pp. 3682-3690. doi: 10.1111/1750-3841.14850
- 18 Wang Q., Xiong Y.L. Zinc-binding behavior of hemp protein hydrolysates: Soluble versus insoluble zinc-peptide complexes. *Journal of functional foods*. 2018. vol. 49. pp. 105-112. doi: 10.1016/j.jff.2018.08.019
- 19 Plati F., Ritzoulis C., Pavlidou E., Paraskevopoulou A. Complex coacervate formation between hemp protein isolate and gum Arabic: Formulation and characterization. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2021. vol. 182. pp. 144-153. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2021.04.003
- 20 Dapčević-Hadnađev T., Dizdar M., Pojić M., Krstonošić V. et al. Emulsifying properties of hemp proteins: Effect of isolation technique. *Food Hydrocolloids*. 2019. vol. 89. pp. 912-920. doi: 10.1016/j.foodhyd.2018.12.002

Сведения об авторах

Ольга С. Корнеева д.б.н., профессор, кафедра Биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, korneeva-olgas@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2863-0771>

Людмила И Василенко к.т.н., доцент, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции 19, г. Воронеж, 394036, Россия, vli2008@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4038-0549>

Information about authors

Olga S. Korneeva Dr. Sci. (Biol.), professor, biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, korneeva-olgas@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2863-0771>

Ludmila I. Vasilenko Cand. Sci. (Engin.), associate professor, biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, vli2008@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4038-0549>

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>

Алексей А. Берестовой к.т.н., доцент, кафедра информационной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции 19, г. Воронеж, 394036, Россия, berestovoy_1991@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2255-9414>

Мария М. Исува ординатор, кафедра лечебного дела, Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко, ул. Студенческая 10, г. Воронеж, 394036, Россия, mawysta@mail.ru

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>

Alexey A. Berestovoy Cand. Sci. (Engin.), associate professor, information security department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, berestovoy_1991@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2255-9414>

Maria M. Isuwa resident, General Medicine Department, Voronezh State Medical University named after V.I. N.N. Burdenko, 10 Studencheskaya street, Voronezh, 394036, Russia, mawysta@mail.ru

Вклад авторов

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

Contribution

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 05/04/2023	После редакции 28/04/2023	Принята в печать 22/05/2023
Received 05/04/2023	Accepted in revised 28/04/2023	Accepted 22/05/2023

Совершенствование технологии приготовления кулинарной продукции из мяса птицы для детского питания: систематический обзор

Анна Т. Васюкова	¹	vasyukova-at@ya.ru	 0000-0002-7374-4145
Ирина У. Кусова	¹	kusovaiu@mgupp.ru	 0000-0001-8022-7229
Ростислав А. Эдварс	¹	rostislave@mail.ru	 0000-0002-9290-8619
Мария Д. Шумилина	¹	mari.popins.nu@mail.ru	 0000-0003-0809-6863
Михаил А. Асташев	¹	astashevnikhail@gmail.com	 0000-0001-8547-1853
Иван А. Варламов	¹	varlamov.2000@mail.ru	 0000-0003-2252-4158

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

Аннотация. В настоящее время открывается все больше новых технологий в пищевой промышленности и общественном питании по производству кулинарной продукции из сельскохозяйственной птицы. Данный вид сырья пользуется большой популярностью у населения, благодаря своему химическому составу и пищевой ценности. Исследование новых подходов к качеству и безопасности пищевой продукции для детского питания также является актуальной темой. Целью настоящего обзора является анализ литературных источников о новых технологиях в производстве кулинарной продукции из сельскохозяйственной птицы и методах обеспечения безопасности и качества для питания детей различных возрастных групп. В представленный систематический обзор включены статьи баз данных Scopus, РИНЦ и Google Scholar, ограниченные по временному периоду с 2011 по 2023 год, проанализированы 24 работы высокорейтинговых журналов и распределены по трем тематическим блокам: общие исследования полуфабрикатов из сельскохозяйственной птицы, новые технологии в производстве кулинарной продукции и безопасность кулинарной продукции из сельскохозяйственной птицы для питания детей различных возрастных категорий. В ходе проведенной работы были рассмотрены различные исследования полуфабрикатов из сельскохозяйственной птицы, влияние новых технологических приемов на качество и потребительские свойства кулинарных продуктов, а также основные исследования в области безопасности детского питания. В результате выявлена достаточно крепкая экспериментальная и исследовательская база в данных областях общественного питания. Данные настоящего обзора окажут неоценимую помощь при выработке кулинарной продукции из сельскохозяйственной птицы для детского питания различных возрастных категорий, а также при составлении рационов питания и разработки технологических процессов в общеобразовательных учреждениях.

Ключевые слова: кулинарная продукция, птица, питания детей, безопасность, пищевые продукты, потребительские свойства.

Improvement of the technology of cooking culinary products from poultry meat for children's food: a systematic review

Anna T. Vasyukova	¹	vasyukova-at@ya.ru	 0000-0002-7374-4145
Irina U. Kusova	¹	kusovaiu@mgupp.ru	 0000-0001-8022-7229
Rostislav A. Edvars	¹	rostislave@mail.ru	 0000-0002-9290-8619
Maria D. Shumilina	¹	mari.popins.nu@mail.ru	 0000-0003-0809-6863
Michael A. Astashev	¹	astashevnikhail@gmail.com	 0000-0001-8547-1853
Ivan A. Varlamov	¹	varlamov.2000@mail.ru	 0000-0003-2252-4158

¹ Russian Biotechnological University, 11, Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russia

Abstract. Currently, more and more new technologies are being discovered in the food industry and public catering for the production of culinary products from poultry. This type of raw material is very popular among the population, due to its chemical composition and nutritional value. The study of new approaches to the quality and safety of food products for baby food is also an urgent topic. The purpose of this review is to analyze literature sources on new technologies in the production of culinary products from poultry and methods of ensuring safety and quality for the nutrition of children of various age groups. The presented systematic review includes articles from the Scopus, Rsci and Google Scholar databases, limited by the time period from 2011 to 2023, 24 works of highly rated journals are analyzed and divided into three thematic blocks: general studies of semi-finished poultry products, new technologies in the production of culinary products and the safety of culinary products from poultry for children's nutrition different age categories. In the course of the work carried out, various studies of semi-finished poultry products, the impact of new technological techniques on the quality and consumer properties of culinary products, as well as basic research in the field of baby food safety were considered. As a result, a fairly strong experimental and research base in these areas of public catering has been identified. The data of this review will provide invaluable assistance in the development of culinary products from poultry for baby food of various age categories, as well as in the preparation of food rations and the development of technological processes in educational institutions.

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

Для цитирования

Васюкова А.Т., Кусова И.У., Эдварс Р.А., Шумилина М.Д., Асташев М.А., Варламов И.А. Совершенствование технологии приготовления кулинарной продукции из мяса птицы для детского питания: систематический обзор // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 2. С. 178–188. doi:10.20914/2310-1202-2023-2-178-188

For citation

Vasyukova A.T., Kusova I.U., Edvars R.A., Shumilina M.D., Astashev M.A., Varlamov I.A. Improvement of the technology of cooking culinary products from poultry meat for children's food: a systematic review. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 2. pp. 178–188. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-2-178-188

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

Введение

В существующей литературе можно выделить следующие тренды в изучении исследуемой проблематики: разработка кулинарной продукции для детского питания и полуфабрикатов из сельскохозяйственной птицы.

Птица, особенно в качестве источника мяса, обладает неоспоримыми преимуществами быстрого роста, коротких сроков производства и низких удельных затрат. Эти преимущества делают птицу одним из наиболее эффективных источников белка для потребления человеком из всех сельскохозяйственных животных. Дополнительным общемировым преимуществом является то, что существует очень мало стигматизирующих факторов, таких как социальные или религиозные проблемы, препятствующие употреблению мяса птицы. Курица вполне может быть самым общепринятым и потребляемым мясом в мире. Движение в сторону расширения международной торговли означает, что мясо птицы и продукты из мяса птицы могут получить все более широкое распространение (Sebranek, 2019).

Слова ученого только подтверждают актуальность использования сельскохозяйственной птицы для ежедневного питания.

В настоящем обзоре показано, что в мировом научном сообществе представлено не мало исследований на тему новых технологий в области приготовления полуфабрикатов и кулинарной продукции из сельскохозяйственной птицы, а также безопасности и качества питания детей различных возрастных категорий.

Результаты обзора выведут предприятия общественного питания и пищевые производства на новый уровень по производству кулинарной продукции из сельскохозяйственной птицы.

Поскольку целью данного обзора является изучение основных исследований по совершенствованию технологии производства кулинарной продукции из сельскохозяйственной птицы для питания детей, необходимо ответить на следующие вопросы: Какие исследования в области полуфабрикатов из сельскохозяйственной птицы уже существуют? Какими новыми технологиями при производстве кулинарных изделий из рубленого и натурального мяса птицы пользуется мировое сообщество и как данные технологии воздействуют на потребительские свойства и качество готовых продуктов? А также какие исследования в области безопасности и качества детского питания уже существуют?

Вопросы, поднимаемые в ходе проведения систематического обзора, являются важными как для пищевой промышленности, так и для общественного питания.

Материалы и методы

На первом этапе исследования в базе данных РИНЦ, Scopus и Google Scholar, по определенным ключевым словам: «полуфабрикаты из сельскохозяйственной птицы», «новые технологии в производстве кулинарной продукции из мяса птицы», «качество и безопасность детского питания» было отобрано 24 статьи.

На втором этапе были проанализировали аннотации на предмет наличия информации об новых технологических приемах по производству кулинарной продукции из мяса птицы.

На третьем этапе, проанализировав тексты всех статей, была введена стадия отбора по следующим критериям: статьи, имеющие в себе информацию об полуфабрикатах из мяса птицы, новых технологий производства кулинарных продуктов, а также исследований безопасности продукции для питания детей.

На четвертом этапе статьи были отобраны 16 статей и сгруппированы по тематическим блокам: общие исследования полуфабрикатов из сельскохозяйственной птицы, новые технологии в производстве кулинарной продукции, безопасность кулинарной продукции из сельскохозяйственной птицы для питания детей различных возрастных категорий.

Результаты и обсуждение

Данные проанализированных источников можно разделить по следующим направлениям: общие исследования полуфабрикатов из сельскохозяйственной птицы, новые технологии в производстве кулинарной продукции, безопасность кулинарной продукции из сельскохозяйственной птицы для питания детей различных возрастных категорий.

Общие исследования полуфабрикатов из сельскохозяйственной птицы

Производство и приготовление полуфабрикатов является неотъемлемой частью технологического процесса. Так, индийские ученые Raj S., Suvadashini A. и Mishra B.B. Изучили роль, актуальность и значение полуфабрикатов. В их статье представлен критический обзор исследований в области полуфабрикатов. В нем также подчеркивается важность полуфабрикатов с точки зрения экономии времени, а также их растущее значение, ощущаемое в связи с недавними изменениями, произошедшими в домашнем труде и семейной жизни. В статье представлено в общей сложности 14 различных классификаций полуфабрикатов, и из 14 категорий широко используются четыре категории полуфабрикатов. Это есть как есть, готовые к употреблению, готовые к приготовлению и готовые к разогреву.

В заключение статьи проводится всестороннее исследование для понимания потребления полуфабрикатов с точки зрения повседневной социальной практики, подчеркивая его привычный и рутинный характер (Raj, 2021).

Ученые из России также в плотную занялись разработкой устойчивых систем пищевого производства рубленых полуфабрикатов.

В настоящее время пищевая промышленность осуществляется с использованием пищевых добавок. Многие мировые ученые работают над созданием новых пищевых добавок или улучшением существующих добавок. В мире существует почти две тысячи пищевых добавок, и, конечно, существует необходимость в их совершенствовании. В мясной промышленности при изготовлении продуктов используются добавки, разработанные по собственному рецепту. Использование таких добавок зависит от цели производителя. Скептики утверждают, что пищевые добавки нужны только для увеличения продаж. Тема введения пищевых добавок, а именно с высоким содержанием витаминов, очень актуальна в наше время. Сегодня практически не осталось продуктов питания, где бы ни использовались пищевые добавки (Alekseeva, 2022).

Также полуфабрикаты играют огромную роль на рынке потребления, так рассмотрим статью Европейской группы исследователей, в которой представлен критический обзор недавних исследований потребления «полуфабрикатов», в котором подчеркивается спорный характер этого термина и изучаются его последствия для общественного здравоохранения и экологической устойчивости. В нем проводится различие между полуфабрикатами в целом и отдельными видами полуфабрикатов, такими как готовые блюда, отслеживается структура и рост рынка таких продуктов с особым акцентом на Великобританию, которая в настоящее время имеет самый высокий уровень потребления готовых блюд в Европе.

Установив сложности определения термина, в статье представлены данные из систематического обзора литературы, подчеркивающие важность полуфабрикатов для экономии времени и экономии времени, важность недавних изменений в домашнем труде и семейной жизни, а также то, как потребление полуфабрикатов часто морализируется.

В статье показано, как текущие дебаты о полуфабрикатах являются частью более длительной дискурсивной истории о еде, здоровье и питании. В нем обсуждается текущий уровень общественного понимания связей между полуфабрикатами, экологической устойчивостью и пищевыми отходами. В заключение статьи

приводится обоснование понимания потребления полуфабрикатов с точки зрения повседневной социальной практики, подчеркивая его привычный и рутинный характер (Jackson, 2016).

Таким образом, полуфабрикаты имеют большое значение в производстве кулинарной продукции, а также использовании в домашнем приготовлении. Изучение данной темы окажет немалую пользу при выработке нового ассортимента для пищевой промышленности.

Новые технологии в производстве кулинарной продукции

Наука не стоит на месте, с каждым годом появляется все больше разнообразных технологических приемов при обработке сырья, производстве кулинарной продукции и приготовлении полуфабрикатов.

В первую очередь в производстве кулинарных изделий необходимо обработать сырье или полуфабрикат. Тема новых технологий при обработке сырья и полуфабрикатов была затронута несколькими научными группами из разных стран.

Например, группа ученых из Италии, Дании и Израиля оценила междисциплинарный подход к ультраобработанным пищевым продуктам и связанным с ними технологиям обработки пищевых продуктов.

Ультраобработанные пищевые продукты (UPF) негативно воспринимаются частью научного сообщества, общественностью и политиками, вплоть до того, что их иногда называют не «настоящей пищей». Многие наблюдательные исследования связывают потребление UPF с неблагоприятными последствиями для здоровья. Этот описательный синтез и научная переоценка имеющихся фактических данных направлены на: (I) критическую оценку научной литературы, посвященной UPF, о питании и болезнях, и выявление возможных пробелов в исследованиях или искажений в интерпретации данных; (II) инновационный потенциал различных технологий обработки, который может привести к изменениям в пищевой матрице с благотворными последствиями для здоровья; (III) возможные связи между переработкой, устойчивостью и циклической экономикой посредством повышения ценности побочных продуктов; и (IV) концептуальные параметры новых парадигм в пищевой промышленности, системы оценки и классификации.

Хотя увеличение потребления UPF связано с ожирением, неблагоприятными профилями кардиометаболических факторов риска и повышенным риском инфекционных заболеваний, вопрос о том, являются ли конкретные технологии обработки пищевых продуктов, приводящие к ультраобработанным рецептурам, причиной

наблюдаемых связей между UPRF и различными последствиями для здоровья, остается неясным и далеким от понимания. Развивающиеся технологии могут быть использованы в контексте устойчивой оценки побочных продуктов пищевой промышленности для создания новых недорогих продуктов с улучшенной питательной ценностью и потенциалом для здоровья.

Необходимо финансировать и развивать новые парадигмы оценки и оценки пищевых продуктов на нескольких новых столпах – инженерии, сигнализации и точного питания – с использованием преимуществ доступных цифровых технологий и искусственного интеллекта. Необходимы исследования для получения необходимых научных знаний либо для расширения существующих, либо для создания новых систем оценки и классификации пищевых продуктов, включающих аспекты обработки, которые могут оказать значительное влияние на здоровье и хорошее самочувствие, наряду с факторами, связанными с персонализацией продуктов и рационов, не пренебрегая при этом аспектами переработки и устойчивости. Сложность и прогнозируемый огромный масштаб этих задач требуют менталитета открытых инноваций и нового мышления, способствующего междисциплинарному сотрудничеству и партнерству между научными кругами и промышленностью (Capozzi, 2021).

Продолжая тему обработки полуфабрикатов для приготовления кулинарной продукции, невозможно не представить исследование ученых Al Hilphy A.R., Al Temimi A.B., Al Rubaiy H.H.M., Anand U., Delgado Pando G. И Lakhssassi, N. По применению ультразвука при переработке мяса птицы.

Ультразвук (УЗИ) классифицируется как нетепловая обработка и используется в пищевой промышленности в диапазоне частот от 20 кГц до 1 МГц. Кавитационные пузырьки возникают, когда сила УЗ достаточно высока, чтобы создать разрежение, превышающее силы межмолекулярного притяжения в среде. В настоящее время УС широко используется в мясной промышленности для улучшения таких процедур, как размягчение мяса, массообмен при эмульгировании, маринование, замораживание, гомогенизация, кристаллизация, сушка и инактивация микроорганизмов. Когда мясо птицы обрабатывается у нас, ожидаемое качество часто оказывается лучше, чем при использовании традиционных методов, таких как дезинфекция и замораживание. УЗИ можно рассматривать как новую экологически чистую технологию для размягчения и обеззараживания мяса птицы, поскольку, кроме

того, сочетание ультразвуковой энергии с дезинфицирующим средством оказывает синергетический эффект на уничтожение микробов как кишечной палочки, так и сальмонеллы являются разумными для НАС. УЗИ улучшает физические и химические свойства мясных белков и может привести к уменьшению α -спирали в внутримышечном протеазном комплексе в дополнение к снижению коэффициентов вязкости. Поэтому ультразвуковая обработка может быть применена для улучшения текстурных свойств куриного мяса. НАС также можно использовать для повышения скорости сушки при использовании в вакууме по сравнению с другими традиционными методами. В этом обзоре основное внимание уделяется потенциалу применения США в управлении птицеводством, поскольку спрос на мясные белки хорошего качества растет во всем мире (Al-Hilphy, 2020).

Факультет пищевых наук и питания в Университете Миннесоты, Сент-Пол, занимался изучением влияния приготовления пищи и домашнего приготовления пищи среди взрослых: результаты и последствия для будущих программ.

Кулинарные программы становятся все более популярными; однако в обширном обзоре не изучалось их общее влияние. Таким образом, в этом исследовании был проведен обзор предыдущих исследований по приготовлению пищи / домашних мероприятий по приготовлению пищи, а также результатов, связанных с питанием и здоровьем, среди взрослых, и определены последствия для практики и исследований.

Статьи, оценивающие эффективность вмешательств, которые включали приготовление пищи / приготовление пищи в домашних условиях в качестве основной цели (с января 1980 года по декабрь 2011 года), были найдены с помощью баз данных Ovid MEDLINE, Agricola и Web of Science. Исследования, сгруппированные в соответствии с планом и результатами, были проверены на достоверность с использованием установленной системы кодирования. Результаты были обобщены по нескольким категориям результатов.

Из 28 выявленных исследований 12 включали контрольную группу, 6 из которых были не рандомизированными, а 6 – рандомизированными контролируемые исследования. Оценка проводилась после вмешательства в 5 исследованиях, до и после вмешательства в 23 и после вмешательства в 15. Качественные и количественные показатели показали положительное влияние на основные результаты. Однако не строгий дизайн исследования, различные группы исследования и использование непроверенных инструментов оценки ограничивали более строгие выводы.

Необходимы хорошо продуманные исследования, которые тщательно оценивают долгосрочное влияние на кулинарное поведение, рацион питания, ожирение и другие последствия для здоровья (Reicks, 2014).

Изменить технологические свойства полуфабрикатов и готовых изделий можно также путем добавления новых ингредиентов. Так, некоторые ученые из России провели исследование влияния шпината на показатели качества рубленых полуфабрикатов из мяса птицы.

По мнению экспертов и ученых перерабатывающей промышленности, производство куриных продуктов является перспективным направлением, так как позволяет расширить ассортимент выпускаемой продукции. Так, в последние несколько лет наряду с классическими стали использоваться новые технологии производства диетических продуктов. В статье представлены данные о влиянии шпината на органолептические, физико-химические свойства куриного фарша. Доказано положительное влияние шпината и смеси белков на влагоудерживающую (MRA) и влагосвязывающую (MBA) способности, а также на пищевую ценность полуфабрикатов из мяса птицы (Vasyleva, 2021).

Что касается низкотемпературного приготовления, как нового приема производства готовой кулинарной продукции, Российские исследователи разработали технологический контроль качества кулинарных изделий в условиях низкотемпературной варки.

В рамках государственной политики определены наиболее перспективные направления в области питания, в том числе устранение недостаточности питательных микроэлементов, профилактика неинфекционных заболеваний, вызванных недостаточным питанием населения. Современное направление инновационного развития технологий общественного питания тесно связано с обеспечением щадящих методов тепловой обработки кулинарных изделий. Суть этих технологий заключается в более высокой, по сравнению с традиционными, сохранности пищевых веществ. Это напрямую связано с использованием высокотехнологичного оборудования в сфере общественного питания, которое позволяет реализовать программу низкотемпературного приготовления, характеризующуюся щадящими режимами тепловой обработки с точки зрения параметров «температура-продолжительность», меньшим процентом потерь и высокими питательными свойствами кулинарных изделий. В статье представлены комплексные исследования влияния режимов тепловой обработки на показатели качества продукта при низкотемпературной варке. Представлены зависимости между сохранностью массы от параметров процесса,

вида сырья, формы нарезки полуфабрикатов, а также органолептических показателей качества готовых блюд (Bortsova, 2021).

Также, говоря о низкотемпературном приготовлении, Кафедра пищевой гастрономии и гигиены питания Института наук о питании человека Варшавского университета естественных наук изучила влияние термической обработки методом *Sous-Vide* на качество мяса птицы.

Наблюдается увеличение потребления мяса птицы из-за его доступности, питательной ценности и нежного вкуса. Эти характеристики позволяют готовить с использованием специй и других добавок множество различных блюд и продуктов для все более требовательных потребителей. Технология *су-вид* все чаще используется для придания блюдам новых вкусовых качеств в гастрономии. Целью исследования была оценка влияния метода термической обработки, то есть метода *sous-vide*, по сравнению с традиционным приготовлением, на вкусовые качества мяса птицы, а также на эффективность процесса с точки зрения технологического качества. Выход при приготовлении мяса птицы методом «су-вид» был выше, чем при традиционном способе приготовления в воде (88,5 % против 71,0 % соответственно). Мясо также оказалось более красным ($a \bullet = 254$ против 074) и менее желтым ($b \bullet = 1512$ против 1649), а также более нежным. Вкусовые качества мяса куриной грудки, полученного методом *су-вид*, были выше с точки зрения таких характеристик, как цветовой тон, нежность, сочность и общее качество. В то же время оно было ниже с точки зрения запаха приготовленного мяса и вкуса приготовленного мяса по сравнению с мясом, подвергнутым традиционной кулинарной обработке (Przybylski, 2021).

Группа исследователей из России разработала рецепт и технологию приготовления куриных нагеттосов с использованием пищевых волокон.

Целью работы было исследование и разработка рецептуры и технологии рубленых полуфабрикатов из мяса птицы и оценка их безопасности.

Объектами исследования были пищевые волокна пшеницы и механически отделенная курица. Изучалось влияние пищевых волокон пшеницы на функциональные и технологические свойства сырого мясного фарша и готового продукта. Для определения показателей качества рубленых полуфабрикатов были проведены физико-химические исследования продукта до и после термической обработки. В работе представлены результаты по показателям водо- и жиросвязывающей способности, а также потерь при термической обработке (Statsenko, 2021).

Таким образом, в настоящее время появляются все более новые способы производства кулинарной продукции общественного питания, каждая технология влияет на конкретные характеристики качества и потребительские свойства готового продукта. Изучение новых технологий поможет пищевой промышленности выйти на новый уровень производства.

Безопасность кулинарной продукции из сельскохозяйственной птицы для питания детей различных возрастных категорий

Безопасность кулинарной продукции и полуфабрикатов является основой детского питания различных возрастных категорий. Именно поэтому необходимо изучить последние тенденции в измерении качества готовых продуктов и сырья.

Группа ученых Masset E., Haddad L., Cornelius A. и Isaza-Castro J., выпустившая статью на страницах американского журнала Pubmed.gov, изучила эффективность сельскохозяйственных мероприятий, направленных на улучшение состояния питания детей.

Настоящий отчет представляет собой систематический обзор воздействия потенциальных «беспроявляемых» сельскохозяйственных мероприятий, направленных на улучшение состояния питания детей за счет повышения доходов и рациона сельской бедноты. Предыдущие обзоры по тому же вопросу показали неоднозначные результаты или отсутствие влияния сельскохозяйственных мероприятий на состояние питания.

Различия в результатах этих обзоров являются результатом различных временных рамок и принятых методологий, а также различных типов рассмотренных сельскохозяйственных мероприятий.

Обзор основан на систематическом поиске опубликованной и неопубликованной литературы. Во время поиска было найдено еще более 7000 исследований, но только 23 были допущены к окончательному включению на основе установленных критериев исключения. Обнаружено, что рассмотренные сельскохозяйственные мероприятия оказывают положительное влияние на производство сельскохозяйственной продукции, продвигаемой этими мероприятиями, но мало доказательств влияния на общий доход домашних хозяйств. Учеными найдено только одно исследование, которое проверяло влияние на общий доход домохозяйства. Это исследование выявило положительный эффект от вмешательства.

Так, обнаружено, что мероприятия были успешными в стимулировании потребления определенных продуктов питания, но было

получено очень мало фактических данных об изменениях в рационе бедных. Не найдено в результате никаких доказательств влияния на усвоение железа и некоторых свидетельств влияния на усвояемость витамина А. В девятнадцати исследованиях была предпринята попытка оценить влияние вмешательств на состав рациона. В двух из этих исследований не проводилось статистического тестирования изменения рациона питания, в четырех не было обнаружено статистически значимого влияния, а в 13 было обнаружено значительное и положительное влияние на потребление продуктов питания, на которые было направлено вмешательство. Ни в одном из исследований не оценивалось, улучшили ли эти вмешательства качество всего рациона. В пяти исследованиях были проведены тесты на воздействие на потребление железа. Четыре теста не показали статистически значимой разницы на уровне 5 %, а один показал положительное влияние на уровне 5 %. Девять исследований, протестированных на предмет воздействия программы на витамин.

Потребление, но только четыре сообщили данные, чтобы иметь возможность проверить, действительно ли имело место воздействие. Суммарный эффект, оцененный с помощью, мета-анализа, этих четырех исследований показывает положительную разницу в потреблении витамина А между проектной и контрольной группами.

Ученые не нашли никаких доказательств влияния на показатели распространенности задержки роста, истощения и недостаточного веса среди детей в возрасте до пяти лет. В восьми исследованиях изучалось влияние на состояние питания детей. Из них только один оказал положительное и значительное влияние, что касается распространенности задержки роста, то в трех случаях было обнаружено положительное и значительное влияние на недостаточный вес, а в двух – положительное и значительное влияние на истощение. Пять из восьми исследований не показали никакого влияния ни на один из трех показателей (Masset, 2011).

Также на страницах BMC Nutrition была найдена статья, целью написания которой стал обзор эффективных принципов гигиены питания и рациона питания для укрепления иммунной системы в целях профилактики коронавирусной болезни 2019 года (COVID-19).

Систематический поиск литературы проводился в трех базах данных с января 2020 года по 10 июля 2020 года. Был проведен поиск статей на английском языке, посвященных питанию, пище, иммунитету и коронавирусу. Были включены систематические и описательные обзоры.

После оценки поисковых документов в этом обзоре были использованы 27 соответствующих статей. Была подчеркнута важность питательных веществ, фитохимикатов, пробиотиков и некоторых специй для повышения иммунитета во время пандемии COVID-19. Здоровый режим питания с надлежащим потреблением энергии обеспечивает достаточное количество питательных веществ. Нездоровый режим питания связан с воспалением и факторами риска, связанными с высокой смертностью у пациентов с тяжелой инфекцией COVID-19. Для инактивации вирусов использовались различные тепловые процедуры. Не рекомендуется употреблять сырые или недоваренные продукты животного происхождения.

Крайне важно обеспечить удовлетворение и поддержание потребностей населения в питании на основе стандартов во время пандемии COVID-19. Должны быть предоставлены четкие рекомендации по адекватному потреблению калорий и оптимальному здоровому питанию для поддержки иммунной функции. Соблюдение правил гигиены должно выполняться всеми и выполняться в пищевой промышленности (Mirzay-Razaz, 2022).

Ученые из Австралии оценили влияние изменения практики общественного питания в средних школах, обеспечивающих обычное питание, на пищевое поведение учащихся, их здоровье и питание.

Сектор образования признан идеальной платформой для продвижения правильного питания и принятия решений о еде и еде. Изучение подростков в этой обстановке важно из-за уникальных особенностей подросткового возраста по сравнению с младшим детством. В этом систематическом обзоре и мета-анализе рассматриваются мероприятия в средних школах, которые обеспечивают обычное питание, и влияние на пищевое поведение подростков, их здоровье и опыт питания в этой обстановке. Основу обзора были положены предпочтительные пункты отчетности для систематических обзоров и мета-анализов (PRISMA), контрольный список и рекомендации кокрейновского справочника.

Исследования, опубликованные на английском языке, были найдены в четырех базах данных, и ручной поиск дал 42 вмешательства в 35 исследованиях. Риск предвзятости оценивался независимо двумя рецензентами. Мероприятия были классифицированы с использованием структуры питания, а их влияние проанализировано с помощью мета-анализа, обобщения результатов подсчета голосов или описательного резюме. Метаанализ показал улучшение

у учащихся, выбирающих овощи (отношение шансов (OR): 1,39; 1,12 к 1,23; $v = 0.002$), выбраны фруктовые блюда (средняя разница (MD): 0,09; от 0,09 до 0,09; $p < 0,001$) и потреблены (MD: 0,10; от 0,04 до 0,15; $p < 0,001$), и потреблены овощные блюда (MD: 0,06; от 0,01 до 0,10; $p = 0,024$). Подсчет голосов показал положительное влияние для большинства вмешательств, которые измеряли выбор (15 из 25; от 41 % до 77 %; $p = 0,002$) и потребление (14 из 24; от 39 % до 76 %; $p = 0.013$) компонента питания. Мероприятия, включающие улучшение качества меню, оценку вкусовых качеств, доступность более полезных блюд и вовлечение учащихся, могут способствовать успеху. Эти результаты следует интерпретировать с осторожностью, поскольку большинство исследований не были методологически обоснованными и подвергались более высокому риску предвзятости.

Существует необходимость в более качественных практических испытаниях, стратегиях построения и измерения устойчивых изменений, а также оценке отношения и восприятия конечных пользователей к компонентам вмешательства и реализации для лучшего понимания успеха вмешательства и будущих направлений (Mingay, 2022).

Группа ученых из Дании, Вьетнама Сингапура проанализировала крупномасштабную вспышку отравления золотистым стафилококком пищевого происхождения среди детей младшего школьного возраста.

Крупномасштабная вспышка пищевого отравления произошла в школьной столовой в провинции Ниньбинь, Вьетнам, в 2018 году, в результате чего 352 ученика были госпитализированы с клиническими симптомами, указывающими на пищевое отравление стафилококком. Последующее лабораторное исследование выявило золотистый стафилококк в двух продуктах питания – креветках, обжаренных во фритюре, и куриной вате – в количестве до 103 КОЕ/мл, а стафилококковые энтеротоксины (Ses) в куриной вате – в количестве $\geq 0,211$ Ses/g. Золотистый стафилококк был также выделен из образцов рвоты и кала пациентов, образцов кала работников кухни, а также в замороженном курином мясе, но не на поверхностях рук работников кухни, что позволяет предположить, что причиной этой вспышки пищевого отравления было заражение куриного мяса *S. Aureus*. Молекулярная характеристика показала, что штаммы *S. Aureus*, выделенные из всех образцов, были тесно связаны; все принадлежали к типу последовательности (ST) ST6 и типу spa t701 и несли гены sea и sec. Этот штамм, продуцирующий SE,

был устойчив к пенициллину и тетрациклину, но все еще был чувствителен к оксациллину, эритромицину, гентамицину, метициллину и ванкомицину. Поскольку информация о пищевых отравлениях золотистым стафилококком часто занижается, наше исследование дополнило скудные качественные и количественные данные мониторинга и эпиднадзора за патогенным золотистым стафилококком во Вьетнаме, предоставляя необходимые знания для принятия профилактических мер на случай будущих вспышек (Le, 2021).

Также и исследователи из Красноярска занимались изучением показателей безопасности полуфабрикатов из рубленого мяса птицы.

Здоровье является важным компонентом сохранения всего общества. На практике результаты массовых обследований в разных регионах России в конечном итоге показывают, что в настоящее время существует большое количество различных нарушений в области питания. Производство различных функциональных продуктов в 21 веке является растущей тенденцией. В настоящее время в Российской Федерации появляется все больше различных функциональных продуктов, и они набирают популярность среди потребителей. Целью исследования является изучение различных микробиологических показателей безопасности мясоовощного рубленого полуфабриката функциональной направленности. По результатам исследований можно сделать вывод, что мясной фарш и овощной полуфабрикат полностью соответствуют установленным требованиям безопасности качества в соответствии с действующей в настоящее время нормативной документацией (Rebezov, 2021).

Медицинский факультет Университета Мэриленда занимался вопросом о том, как отсутствие продовольственной безопасности связано с ожирением, недостаточным весом, задержкой роста, здоровьем и развитием у детей в возрасте до 4 лет.

Лица, осуществляющие уход за маленькими детьми, приняли участие в перекрестном опросе в медицинских центрах в 5 городах США. Критериями включения были возраст <48 месяцев. Критериями исключения были тяжелобольные или раненые, а также частная медицинская страховка. Модуль обследования продовольственной безопасности домашних хозяйств определил 3 группы воздействия: безопасные продукты питания, небезопасные продукты питания в домашних хозяйствах и безопасные продукты питания для детей, а также небезопасные продукты питания в домашних хозяйствах и небезопасные продукты питания для детей.

Зависимыми показателями были ожирение (вес-возраст > 90-й перцентиль), недостаточный вес (вес-возраст < 5-й перцентиль), задержка роста (рост / длина-возраст < 5-й перцентиль) и риск для здоровья и развития ребенка, о котором сообщили опекуны. Многофакторный логистический регрессионный анализ, скорректированный с учетом демографических факторов, ИМТ матери и участия в программе продовольственной помощи, изучал взаимосвязи между группами воздействия и зависимыми переменными с возрастной стратификацией: от 0 до 12, от 13 до 24, от 25 до 36 и от 37 до 48 месяцев.

В этой многонациональной выборке (N = 28 184 ребенка, 50 % не испаноязычных афроамериканцев, 34 % испаноязычных, 14 % не испаноязычных белых) 27 % домашних хозяйств не имели продовольственной безопасности. За исключением 1 случая в возрасте от 25 до 36 месяцев, ни отсутствие продовольственной безопасности в семье, ни у детей не было связано с ожирением, недостаточным весом или задержкой роста, но и то, и другое было связано с повышением вероятности хорошего или плохого состояния здоровья и риска развития в разных возрастах.

Среди детей в возрасте до 4 лет отсутствие продовольственной безопасности связано с высоким или низким риском для здоровья и развития, а не с антропометрией. Полученные результаты подтверждают рекомендации Американской академии педиатрии по скринингу и направлению к специалистам в связи с отсутствием продовольственной безопасности, чтобы помочь семьям справиться с экономическими трудностями и связанными с ними стрессорами (Drennen, 2019).

Русские ученые рассуждали о роли гуминовых веществ в формировании безопасности и качества мяса птицы.

Высокие возможности природного и органического комплекса гуминовых кислот «Reasil@HumicHealth» (производства России, Саратов) для сорбции и десорбции пяти микотоксинов комбикорма (афлатоксин B1, охратоксин, токсин T-2, зеараленон и фуминизин B1) были экспериментально установлены.

Гепатопротекторная способность гуминовых кислот наблюдалась в экспериментах на бройлерах, использующих рапсовую муку, содержащую повышенное количество вторичных растительных метаболитов, которые могут вызвать повреждение печени. Установлено, что включение гуминовых кислот в количестве 1 и 1,5 г на 1 кг корма в основной рацион цыплят-бройлеров оказывает более стабильный положительный эффект, как по убойным показателям

(выход полупереваренных туши и тушки полного потрошения), а также при производстве ценнейших натуральных полуфабрикатов (грудки, куриные окорочка) за счет интенсивного роста мышечной ткани. Отмечено явное улучшение морфо-биохимических и иммунологических показателей крови и микроморфометрических характеристик органов иммунной системы домашней птицы при использовании солей гуминовых кислот различной концентрации. Использование добавки из расчета 1 и 1,5 г на 1 кг корма не оказывает негативного влияния на сенсорные показатели готовых кулинарных изделий (Simakova, 2021).

Группа исследователей из Узбекистана разработала меры безопасности при совершенствовании и хранении технологий полуфабрикатов и мясных продуктов высокой степени готовности.

Обеспечение предприятий общественного питания полуфабрикатами, полуфабрикатами и высококачественными готовыми продуктами в промышленных масштабах при одновременном приготвлении этих блюд в короткие сроки экономит рабочую силу, тепловую энергию, устраняет необходимость в некотором механическом и нагревательном оборудовании. Позволяет полностью и эффективно использовать механическое и термическое оборудование, а производительность труда увеличивается. Спрос на мясо и мясопродукты растет по мере улучшения образа жизни населения. Поэтому с целью увеличения ресурсов животноводства и повышения пищевой и биологической ценности готовой продукции особое внимание уделяется эффективному использованию мясного сырья,

увеличению ассортимента мясных продуктов на основе научно обоснованных рекомендаций в соответствии с теорией сбалансированного питания (Muminov, 2022).

Таким образом, в настоящее время проведено множество исследований по улучшению качества и безопасности кулинарной продукции для детского питания [25]. Данные исследования окажут неоценимую помощь общественному питанию и здоровью населения в целом.

Заключение

В данном обзоре представлены результаты исследований полуфабрикатов из сельскохозяйственной птицы, новых приемов при производстве кулинарной продукции из данного вида сырья, а также продовольственной безопасности питания детей различных возрастов.

Показана важность полуфабрикатов с точки зрения экономии времени, а также их растущее значение, ощущаемое в связи с недавними изменениями, произошедшими в домашнем труде и семейной жизни, основные исследования показателей качества под влиянием новых технологий производства, а также основные вехи в исследованиях по безопасности готовых продуктов. Таким образом, анализ базы данных Google Scholar свидетельствует об актуальности и перспективе развития технологий по приготовлению кулинарной продукции из натуральных и рубленых полуфабрикатов сельскохозяйственной птицы для детского питания различных возрастных категорий

Литература

- 1 Алексеева Ю.А., Хорошайло Т.А., Бачина К.Н., Мартемьянова А.А. Разработка устойчивых систем производства продуктов питания из рубленых полуфабрикатов // В серии конференций ИОР: Науки о Земле и окружающей среде. 2022. Т. 981. № 2. С. 022062. doi: 10.1088/1755-1315/981/2/022062
- 2 Al Hilphy A.R., Al Temimi A.B., Al Rubaiy H.H.M., Anand U., et al. Ultrasound applications in poultry meat processing: A systematic review // Journal of food science. 2020. V. 85. № 5. P. 1386-1396. doi: 10.1111/1750-3841.15135
- 3 Bortsova E., Lavrova, L. Technological quality assurance of culinary products in low-temperature cooking conditions // In AIP Conference Proceedings. 2021. V. 2419. № 1. P. 040003. doi: 10.1063/5.0069418
- 4 Capozzi F., Magkos F., Fava F., Milani G.P. et al. A multidisciplinary perspective of ultra-processed foods and associated food processing technologies: a view of the sustainable road ahead // Nutrients. 2021. V. 13. № 11. P. 3948. doi: 10.3390/nu13113948
- 5 Dayong N., Mikhaylov A., Bratanovsky S., Shaikh Z.A. Mathematical modeling of the technological processes of catering products production // Journal of Food Process Engineering. 2020. V. 43. № 2. P. e13340.
- 6 Dondi A., Candela E., Morigi F., Lenzi J. et al. Parents' perception of food insecurity and of its effects on their children in Italy six months after the COVID-19 pandemic outbreak // Nutrients. 2020. V. 13. № 1. P. 121.
- 7 Drennen C.R., Coleman S.M., Ettinger de Cuba S., Frank D.A. et al. Food insecurity, health, and development in children under age four years // Pediatrics. 2019. V. 144. № 4. doi: 10.1542/peds.2019-0824
- 8 Higuera L., López-Carballo G., Hernández-Muñoz P., Gavara R. Measurement of Antioxidant Concentration in Active Food Packaging-Impact on Activity in the Stored Food // Handbook of Antioxidant Methodology. 2021. V. 28. P. 279.
- 9 Jackson P., Viehoff V. Reframing convenience food // Appetite. 2016. V. 98. P. 1-11. doi: 10.1016/j.appet.2015.11.032
- 10 Le H.H.T., Dalsgaard A., Andersen P.S., Nguyen H.M. et al. Large-scale Staphylococcus aureus foodborne disease poisoning outbreak among primary school children // Microbiology Research. 2021. V. 12. № 1. P. 43-52. doi: 10.3390/microbiolres12010005

- 11 Masset E., Haddad L., Cornelius A., Isaza-Castro J. A systematic review of agricultural interventions that aim to improve nutritional status of children // London: EPPI-Centre, Social Science Research Unit, Institute of Education, University of London. 2011.
- 12 Mingay E., Hart M., Yoong S., Palazzi K. et al. The Impact of Modifying Food Service Practices in Secondary Schools Providing a Routine Meal Service on Student's Food Behaviours, Health and Dining Experience: A Systematic Review and Meta-Analysis // *Nutrients*. 2022. V. 14. № 17. P. 3640.
- 13 Mirzay-Razaz J., Hassanghomi M., Ajami M., Koochakpoor G. et al. Effective food hygiene principles and dietary intakes to reinforce the immune system for prevention of COVID-19: a systematic review // *BMC nutrition*. 2022. V. 8. № 1. P. 1–13.
- 14 Муминов Н., Саидмуродова З., Нурматов С. Меры безопасности при совершенствовании и технологии хранения мясных полуфабрикатов и полуфабрикатов // *В E-Conference Globe*. 2022. С. 7–9.
- 15 Owusu-Apenten R.K., Vieira E.R. *Elementary food science*. Springer, 2023. №. 303022.
- 16 Pollans M.J., Broad Leib E.M. *The New Food Safety*. 2019.
- 17 Przybylski W., Jaworska D., Kajak-Siemaszko K., Salek P. et al. Effect of heat treatment by the sous-vide method on the quality of poultry meat // *Foods*. 2021. V. 10. №.7. P. 1610. doi: 10.3390/foods10071610
- 18 Raj S., Suvadashini A., Mishra B.B. Role, Relevance and Significance of Convenience Food-A Literature Review Approach // *Global Media Journal*. 2021. V. 19. №. 41. P. 1–6.
- 19 Ребезов Ю.М., Шадрин М.А., Байдан Д.В., Милета Э.А. и др. Исследование показателей безопасности полуфабрикатов из рубленого мяса птицы // В серии конференций ИОР: Науки о Земле и окружающей среде. Т. 677. № 3. С. 032040. doi: 10.1088/1755–1315/677/3/032040
- 20 Reicks M., Trofholz A.C., Stang J.S., Laska M.N. Impact of cooking and home food preparation interventions among adults: outcomes and implications for future programs // *Journal of nutrition education and behavior*. 2014. V. 46. № 4. P. 259–276. doi: 10.1016/j.jneb.2014.02.001
- 21 Sebranek J.G. *Poultry and poultry products // In Freezing effects on food quality*. CRC Press, 2019. P. 85–108.
- 22 Симакова И.В., Васильев А.А., Корсаков К.В., Гуляева Л.Ю. Влияние различных концентраций гуминовых кислот на формирование безопасности и товароведно-технологических качеств мяса цыплят-бройлеров // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2018. №. 3. С. 73–82.
- 23 Стаценко Э., Омаров Р., Шлыков С., Нестеренко А., Ребезов М. Рецептура куриных наггетсов и разработка технологии с пищевыми волокнами // *Международный журнал транзакций по инженерии, менеджменту, прикладным наукам и технологиям*. 2021. Т. 12. №11. С. 1–8.
- 24 Васильева Н.С., Сложенкина М.И., Храмова В.Н., Шинкарева С.В., и др. Исследование влияния шпината на качественные показатели рубленых полуфабрикатов из птицы // В серии конференций ИОР: Науки о Земле и окружающей среде. 2021. Т. 677. № 3. С. 032004. doi: 10.1088/1755–1315/677/3/032004
- 25 Vasyukova A.T., Edvars R.A., Vasyukov M.V., Lyubimova K.V. et al. The influence of heat treatment of meat products in a combi oven on their quality // *Process Management and Scientific Developments. Proceedings of the International Conference*. Birmingham, 2022. P. 200–206.

References

- 1 Alekseeva Yu.A., Khoroshailo T.A., Bachinina K.N., Martemyanova A.A. Development of sustainable food production systems from chopped processed foods. In the IOP conference series: Earth and environmental sciences. 2022. vol. 981. no. 2. pp. 022062. doi: 10.1088/1755–1315/981/2/022062 (in Russian).
- 2 Al Hilphy A.R., Al Temimi A.B., Al Rubaiy H.H.M., Anand U., et al. Ultrasound applications in poultry meat processing: A systematic review. *Journal of food science*. 2020. vol. 85. no. 5. pp. 1386–1396. doi: 10.1111/1750–3841.15135
- 3 Bortsova E., Lavrova, L. Technological quality assurance of culinary products in low-temperature cooking conditions. In *AIP Conference Proceedings*. 2021. vol. 2419. no. 1. pp. 040003. doi: 10.1063/5.0069418
- 4 Capozzi F., Magkos F., Fava F., Milani G.P. et al. A multidisciplinary perspective of ultra-processed foods and associated food processing technologies: a view of the sustainable road ahead. *Nutrients*. 2021. vol. 13. no. 11. pp. 3948. doi: 10.3390/nu13113948
- 5 Dayong N., Mikhaylov A., Bratanovsky S., Shaikh Z.A. Mathematical modeling of the technological processes of catering products production. *Journal of Food Process Engineering*. 2020. vol. 43. no. 2. pp. e13340.
- 6 Dondi A., Candela E., Morigi F., Lenzi J. et al. Parents' perception of food insecurity and of its effects on their children in Italy six months after the COVID 19 pandemic outbreak. *Nutrients*. 2020. vol. 13. no. 1. pp. 121.
- 7 Drennen C.R., Coleman S.M., Ettinger de Cuba S., Frank D.A. et al. Food insecurity, health, and development in children under age four years. *Pediatrics*. 2019. vol. 144. no. 4. doi: 10.1542/peds.2019–0824
- 8 Higuera L., López-Carballo G., Hernández-Muñoz P., Gavara R. Measurement of Antioxidant Concentration in Active Food Packaging–Impact on Activity in the Stored Food. *Handbook of Antioxidant Methodology*. 2021. vol. 28. pp. 279.
- 9 Jackson P., Viehoff V. Reframing convenience food. *Appetite*. 2016. vol. 98. pp. 1–11. doi: 10.1016/j.appet.2015.11.032
- 10 Le H.H.T., Dalsgaard A., Andersen P.S., Nguyen H.M. et al. Large-scale *Staphylococcus aureus* foodborne disease poisoning outbreak among primary school children. *Microbiology Research*. 2021. vol. 12. no. 1. pp. 43–52. doi: 10.3390/microbiolres12010005
- 11 Masset E., Haddad L., Cornelius A., Isaza-Castro J. A systematic review of agricultural interventions that aim to improve nutritional status of children. London: EPPI-Centre, Social Science Research Unit, Institute of Education, University of London. 2011.
- 12 Mingay E., Hart M., Yoong S., Palazzi K. et al. The Impact of Modifying Food Service Practices in Secondary Schools Providing a Routine Meal Service on Student's Food Behaviours, Health and Dining Experience: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients*. 2022. vol. 14. no. 17. pp. 3640.
- 13 Mirzay-Razaz J., Hassanghomi M., Ajami M., Koochakpoor G. et al. Effective food hygiene principles and dietary intakes to reinforce the immune system for prevention of COVID 19: a systematic review. *BMC nutrition*. 2022. vol. 8. no. 1. pp. 1–13.

- 14 Muminov N., Saidmurodova Z., Nurmatov S. Safety measures when improving and storing technologies for semi-finished and semi-finished meat products. In E-Conference Globe. 2022. pp. 7–9. (in Russian).
- 15 Owusu-Apenten R.K., Vieira E.R. Elementary food science. Springer, 2023. no. 303022.
- 16 Pollans M.J., Broad Leib E.M. The New Food Safety. 2019.
- 17 Przybylski W., Jaworska D., Kajak-Siemaszko K., Sałek P. et al. Effect of heat treatment by the sous-vide method on the quality of poultry meat. *Foods*. 2021. vol. 10. no.7. pp. 1610. doi: 10.3390/foods10071610
- 18 Raj S., Suvadarshini A., Mishra B.B. Role, Relevance and Significance of Convenience Food-A Literature Review Approach. *Global Media Journal*. 2021. vol. 19. no. 41. pp. 1–6.
- 19 Rebezov Yu.M., Shadrin M.A., Baydan D.V., Mileta E.A. and others. Study of safety indicators of semi-finished minced poultry meat. In the IOP conference series: Earth and Environmental Sciences. vol. 677. no. 3. pp. 032040. doi: 10.1088/1755–1315/677/3/032040 (in Russian).
- 20 Reicks M., Trofholz A.C., Stang J.S., Laska M.N. Impact of cooking and home food preparation interventions among adults: outcomes and implications for future programs. *Journal of nutrition education and behavior*. 2014. vol. 46. no. 4. pp. 259–276. doi: 10.1016/j.jneb.2014.02.001
- 21 Sebranek J.G. Poultry and poultry products. In Freezing effects on food quality. CRC Press, 2019. pp. 85–108.
- 22 Simakova I.V., Vasiliev A.A., Korsakov K.V., Gulyaeva L.Yu. The influence of different concentrations of humic acids on the formation of safety and commodity-technological qualities of broiler chicken meat. Storage and processing of agricultural raw materials. 2018. no. 3. pp. 73-82. (in Russian).
- 23 Statsenko E., Omarov R., Shlykov S., Nesterenko A., Rebezov M. Recipe for chicken nuggets and development of technology with dietary fiber. *International Journal of Transactions on Engineering, Management, Applied Sciences and Technologies*. 2021. vol. 12. no. 11. pp. 1–8. (in Russian).
- 24 Vasilyeva N.S., Slozhenkina M.I., Khramova V.N., Shinkareva S.V., et al. Study of the influence of spinach on the quality indicators of chopped semi-finished poultry products. In the IOP conference series: Earth and Environmental Sciences environment. 2021. vol. 677. no. 3. pp. 032004. doi: 10.1088/1755–1315/677/3/032004 (in Russian).
- 25 Vasyukova A.T., Edvars R.A., Vasyukov M.V., Lyubimova K.V. et al. The influence of heat treatment of meat products in a combi oven on their quality. *Process Management and Scientific Developments. Proceedings of the International Conference. Birmingham*, 2022. pp. 200–206.

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@ya.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/0000-0001-8022-7229>

Ростислав А. Эдварс аспирант, 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>

Мария Д. Шумилина студент, кафедра индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса, Российский биотехнологический университет, Волоколамское шоссе, д. 11, г. Москва, 125080, Россия, mari.popins.nu@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0809-6863>

Михаил А. Асташев студент, кафедра индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса, Российский биотехнологический университет, Волоколамское шоссе, д. 11, г. Москва, 125080, Россия, astashevnikhail@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-8547-1853>

Иван А. Варламов студент, кафедра индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса, Российский биотехнологический университет, Волоколамское шоссе, д. 11, г. Москва, 125080, Россия, varlamov.2000@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2252-4158>

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 Biotechnological University, Volokolamskoe shosse, 11, Moscow, 125080, Russia, vasyukova-at@ya.ru

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

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

<https://orcid.org/0000-0001-8022-7229>

Rostislav A. Edvars graduate student, food industry, hotel business and service department, Russian Biotechnological University, Volokolamskoe shosse, 11, Moscow, 125080, Russia, rostislave@mail.ru

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

Maria D. Shumilina student, food industry, hotel business and service department, Russian Biotechnological University, Volokolamskoe shosse, 11, Moscow, 125080, Russia, mari.popins.nu@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0809-6863>

Michael A. Astashev student, food industry, hotel business and service department, Russian Biotechnological University, Volokolamskoe shosse, 11, Moscow, 125080, Russia, astashevnikhail@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-8547-1853>

Ivan A. Varlamov student, food industry, hotel business and service department, Russian Biotechnological University, Volokolamskoe shosse, 11, Moscow, 125080, Russia, varlamov.2000@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2252-4158>

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 21/04/2023	После редакции 15/05/2023	Принята в печать 01/06/2023
Received 21/04/2023	Accepted in revised 15/05/2023	Accepted 01/06/2023

Влияние экологичных масел Фитонорман на адгезионные свойства морозостойких резин на основе бутадиен-нитрильного каучука

Инна И. Боброва¹

bobrovaini@ya.ru

Светлана В. Котова¹

s.v.kotova@mail.ru

 0000-0002-7076-4669Юлия А. Наумова¹

naumova_yulia@mail.ru

 0000-0001-9968-8244¹ Российский технологический университет (Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова, Москва, 119454, Россия)

Аннотация. Использование пластификаторов на основе сложных эфиров различных кислот наиболее эффективно улучшает переработку резиновых смесей и морозостойкость резин на основе БНК. В данной работе в качестве пластификатора были опробованы продукты на основе растительного сырья – масла Фитонорман производства «Биохимического холдинга «ОРГХИМ», представляющие собой ди- и триглицериды содержащие жирные кислоты таллового масла. Модельные резиновые смеси на основе БНКС-18АМН содержали 10, 20, 30 масс. ч. эко-масла марок Фитонорман 212 и Фитонорман 213, в качестве образца сравнения выбрана смесь без масла и с 10 масс. ч. дибутилфталата (ДБФ). Для оценки влияния типа и дозировки эко-масел на свойства резин и резиновых смесей использованы методы исследования технологических, физико-механических и адгезионных свойств. Определение морозостойкости было проведено сравнением методов по определению температуры стеклования: дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и термомеханического анализа (ТМА). При использовании масел растительного происхождения Фитонорма-212 и Фитонорман-213 технологические свойства резиновых смесей значительно улучшаются по сравнению со смесью без масла и находятся на одном уровне с традиционно применяемым в нитрильных резинах ДБФ. Установлено, что введение эко-масла Фитонорман 213 в рецептуры резиновых смесей на основе БНКС 18АМН до 10 масс. ч. позволяет улучшить технологические параметры, а также понизить температуру стеклования резин. При этом физико-механические параметры и адгезионные свойства вулканизатов снижаются в среднем на 10%. Так же стоит отметить, что резины с маслом Фитонорман 213 по основным характеристикам не уступают нитрильным резинам с ДБФ, а по адгезионным свойствам превосходят на 27%.

Ключевые слова: бутадиен-нитрильный каучук (БНК), пластификатор, адгезия, морозостойкость, дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК), термомеханический анализ.

Influence of environmentally friendly Phytonorman oils on the adhesive properties of frost-resistant rubbers based on nitrile butadiene rubber

Inna I. Bobrova¹

bobrovaini@ya.ru

Svetlana V. Kotova¹

s.v.kotova@mail.ru

 0000-0002-7076-4669Yulia A. Naumova¹

naumova_yulia@mail.ru

 0000-0001-9968-8244¹ M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies, MIREA - Russian Technological University (86, Vernadskogo Pr., Moscow 119571, Russia)

Abstract. The use of plasticizers based on esters of various acids most effectively improves the processing of rubber compounds and the frost resistance of NBR-based rubbers. In this work, as a plasticizer, products based on vegetable raw materials were tested - Phytonorman oils produced by the Biochemical Holding ORGKHIM, which are di- and triglycerides containing fatty acids of tall oil. Model rubber compounds based on BNKS-18AMN contained 10, 20, 30 wt. including eco-oils of the Phytonorman 212 and Phytonorman 213 brands, a mixture without oil and with 10 wt. including dibutyl phthalate (DBPh). To assess the effect of the type and dosage of eco-oils on the properties of rubbers and rubber compounds, methods for studying technological, physical-mechanical and adhesive properties were used. Determination of frost resistance, a comparison was made of methods for determining the glass transition temperature: differential scanning calorimetry (DSC) and thermomechanical analysis (TMA). When using vegetable oils Phytonorman -212 and Phytonorman -213, the technological properties of rubber compounds are significantly improved compared to the mixture without oil and are on the same level with DBPH traditionally used in nitrile rubbers. It has been established that the introduction of Phytonorman 213 eco-oil into the formulations of rubber compounds based on BNKS 18AMN up to 10 wt. hours allows you to improve the technological parameters, as well as lower the glass transition temperature of rubber. At the same time, the physical and mechanical parameters and adhesive properties of vulcanizates are reduced by an average of 10%. It is also worth noting that rubbers with Phytonorman 213 oil are not inferior to nitrile rubbers with DBPh in terms of basic characteristics, and they are superior in adhesive properties by 27%.

Keywords: nitrile butadiene rubber (NBR) plasticizer, adhesion, frost resistance, differential scanning calorimetry (DSC), thermomechanical analysis.

Для цитирования

Боброва И.И., Котова С.В., Наумова Ю.А. Влияние экологичных масел Фитонорман на адгезионные свойства морозостойких резин на основе бутадиен-нитрильного каучука // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 2. С. 189–197. doi:10.20914/2310-1202-2023-2-189-197

For citation

Bobrova I.I., Kotova S.V., Naumova Yu.A. Influence of environmentally friendly Phytonorman oils on the adhesive properties of frost-resistant rubbers based on nitrile butadiene rubber. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 2. pp. 189–197. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-2-189-197

Введение

Среди широкого спектра работ, посвященных роли рецептурных факторов при формировании требуемых свойств резин на основе бутадиен-нитрильных каучуков (БНК), особое внимание уделяется выбору типа пластификаторов. Наиболее эффективно улучшает переработку резиновых смесей и морозостойкость резин на основе БНК использование пластификаторов на основе сложных эфиров различных кислот [1, 2]. Для снижения энергоемкости процессов смешения, каландрования, шприцевания резиновых смесей и температуры стеклования вулканизаторов рекомендуется вводить от 10 до 25 мас. ч. пластификаторов на 100 мас. ч. полимерной основы [3].

Востребованность РТИ – комплектующих для многих отраслей машиностроения, эксплуатируемых при низких и экстремально низких температурах, в том числе в условиях Крайнего Севера, сохраняет острую необходимость совершенствования существующих эластомерных материалов на основе серийных каучуков марки БНКС-18. Резины на основе БНКС со средним и высоким содержанием НАК характеризуются низкой морозостойкостью [4].

Кроме того, с начала 2000-х особое внимание уделяется экологическим аспектам

используемых в резинотехнических изделиях ингредиентов. Применение новых видов экологически безопасного сырья также коснулось рецептур о строения эластомерных материалов на основе БНК [5]. В качестве пластификатора были опробованы продукты на основе растительного сырья – масла Фитонорман производства «Биохимического холдинга «ОРГХИМ», представляющие собой ди- и триглицериды содержащие жирные кислоты таллового масла. Опубликован ряд работ, в которых показана эффективность их использования: в работе [6] рассмотрено влияние масла Фитонорман-212 в рецептурах шинных резин; в работах [7, 8] показано влияние Фитонорман-212 и Фитонорман-213 на технологические, вулканизационные, прочностные характеристики и морозостойкость эластомерных материалов на основе БНКС-28АМН.

Цель работы – рассмотрение влияния типа и дозировки эко-масел Фитонорман на комплекс свойств резиновых смесей и резин на основе морозостойкой марки БНКС-18АМН (ТУ 38.30313–2006), включая адгезионные характеристики.

Материалы и методы

Рецепты исследуемых резиновых смесей представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Рецепты резиновых смесей на основе БНКС-18АМН с применением эко-масла Фитонорман

Table 1.

Recipes for rubber compounds based on BNKS 18AMN using Phytonorman eco-oil

Ингредиент Ingredient	Шифр смеси / Mixture				
	Состав (мас. ч. ингредиента на 100 мас. ч. каучука) Composition (wt. h. of ingredient per 100 wt. h. of rubber)				
БНКС-18 АМН / BNKS-18 AMN	100	100	100	100	100
Сульфенамид Ц / CBS	1,2	1,2	1,2	1,5	1,5
Оксид цинка / Zinc oxide	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Технический углерод П-803 / Carbon black P 803	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0
Фитонорман / Phytonorman	–	10,0	–	20,0	30,0
ДБФ / DBPh	–	–	10,0	–	–
Стеариновая кислота / Stearic acid	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Сера / Sulfur	1,4	2,0	2,0	2,5	2,5

Были опробованы две марки масла:

Фитонорман-212 представляющее собой масло средней вязкости, аналог TDAE (очищенный дистиллированный ароматический экстракт);

Фитонорман-213, представляющее собой низковязкое масло, аналог MES-Mild (солюват слабой экстракции на основе парафино-нафтового сырья).

Для оценки влияния типа и дозировки эко-масел на свойства резин и резиновых смесей были использованы методы исследования технологических, физико-механических и адгезионных свойств. Для оценки морозостойкости было

проведено сравнение методов по определению температуры стеклования: дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и термомеханического анализа (ТМА).

Обсуждение результатов

Для комплексной оценки влияния эко-масел Фитонорман на характеристики резиновых смесей и резин на основе БНКС-18АМН были изготовлены смеси с содержанием масел 10, 20 и 30 масс. ч., для сравнения была выбрана смесь без масла и с 10 масс. ч. дибутилфталата (ДБФ). Результаты испытаний образцов приведены в таблицах 1–3.

При использовании масел растительного происхождения Фитонорма-212 и Фитонорман-213 технологические свойства резиновых смесей значительно улучшаются по сравнению со смесью без масла и находятся на одном уровне с традиционно применяемым в нитрильных резинах ДБФ. Увеличение дозировки масла закономерно повышает пластичность и снижает усадку резиновых смесей [9]. По технологическим характеристикам по показателю «пластичность» образцы резиновых смесей без масла можно отнести к смесям средней жесткости (0,3–0,5 усл. ед.), а при введении в смеси эко-масел, особенно масла Фитонорманом-213 –

к мягким смесям (более 0,5 усл. ед.). Результаты сравнения технологических характеристик образцов приведены в таблице 2.

Вулканизацию резин проводили методом компрессионного формования при температуре 150 °С при оптимальном вулканизации [10]. Как было показано в работах [11, 12], при повышенных дозировках эко-масел время вулканизации увеличивается, в связи с чем потребовалось проведение корректировки вулканизационной группы в смесях с дозировкой масла 30 масс. ч. (таблица 1). Результаты физико-механических характеристик образцов резин приведены в таблице 3.

Таблица 2.

Влияние содержания типа и дозировки эко-масел Фитонорман на технологические свойства резиновых смесей на основе БНКС-18АМН

Table 2.

Influence of type content and dosage of Phytonorman eco-oils on the technological properties of rubber compounds based on BNKS-18AMN

Показатель Indicator	Без масла Without oil	ДБФ, масс. ч DBPh, mass. h	Фитонорман-212, масс. ч Phytonorman 212, mass. h			Фитонорман-213, масс. ч Phytonorman 213, mass.h		
Содержание пластификатора Plasticizer content	0	10	10	20	30	10	20	30
Усадка, % Shrinkage, %	50	38	40	36	46	42	38	44
Пластичность Р Plasticity Р	0,34	0,49	0,46	0,47	0,54	0,45	0,53	0,54
Мягкость S Softness S	0,41	0,51	0,48	0,49	0,56	0,47	0,56	0,56
Восстанавливаемость R Recoverability R	0,84	0,97	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,96
τ _{онт}	30	30	30	30	40	30	30	40

Таблица 3.

Влияние содержания типа и дозировки эко-масел Фитонорман на физико-механические показатели резин на основе БНКС-18АМН

Table 3.

Influence of the type content and dosage of Phytonorman eco-oils on the physical and mechanical properties of rubbers based on BNKS-18AMN

Показатель		ДБФ, масс. ч DBPh, mass. h	Фитонорман-212, масс. ч Phytonorman 212, mass. h			Фитонорман-213, масс. ч Phytonorman 213, mass. h		
	0	10	10	20	30	10	20	30
Условное напряжение при удлинении 200%, МПа Nominal elongation voltage of 200%, MPa	2,8	1,8	2,0	1,3	1,0	2,5	2,3	1,2
Условное напряжение при удлинении 300%, МПа Nominal elongation voltage of 300%, MPa	6,6	4,9	4,4	3,5	2,4	6,1	5,0	2,7
Условная прочность при растяжении, МПа Conditional tensile strength, MPa	10,8	9,3	8,5	7,3	6,6	9,6	7,2	7,2
Относительное удлинение при разрыве, % Elongation at break, %	450	500	450	450	500	500	550	650
Сопротивление раздиру, кН м Tear resistance, kN m	26,4	22,1	22,7	26,8	23,2	23,1	23,3	25,6

По комплексу физико-механических показателей содержание масла 10 масс. ч. можно считать оптимальным. При увеличении дозировки масла до 30 масс. ч наблюдается снижение условной прочности для резин с Фитонорман-212 на 38% и Фитонорман-213 на 33% по сравнению с контрольным образцом.

При сравнении физико-механических свойств резин, содержащих масла в количестве 10 масс. ч., можно видеть, что вулканизаты с Фитонорман-212 имеют прочность при разрыве ниже на 21%, а Фитонорман-213 – на 11% по сравнению с контрольным образцом, при этом

относительное удлинение практически не изменяется. Условное напряжение при удлинении 300% выше у вулканизатов, содержащих Фитонорман-213 на 40% по сравнению с Фитонорман-212. При сравнении с ДБФ можно видеть, что для резин с Фитонорман-213 модуль, прочность и относительное удлинение в среднем на 15% выше, чем у фталатного пластификатора.

Для оценки адгезионных показателей образцов с эко-маслами Фитонорман был использован метод определения прочности связи между слоями «резина-резина» при расслоении по ГОСТ 6768–75 [13]. Увеличение дозировки масла вплоть до 30 масс. ч. снижает прочность связи до 30%, это подтверждается результатами, представленными на рисунке 1.

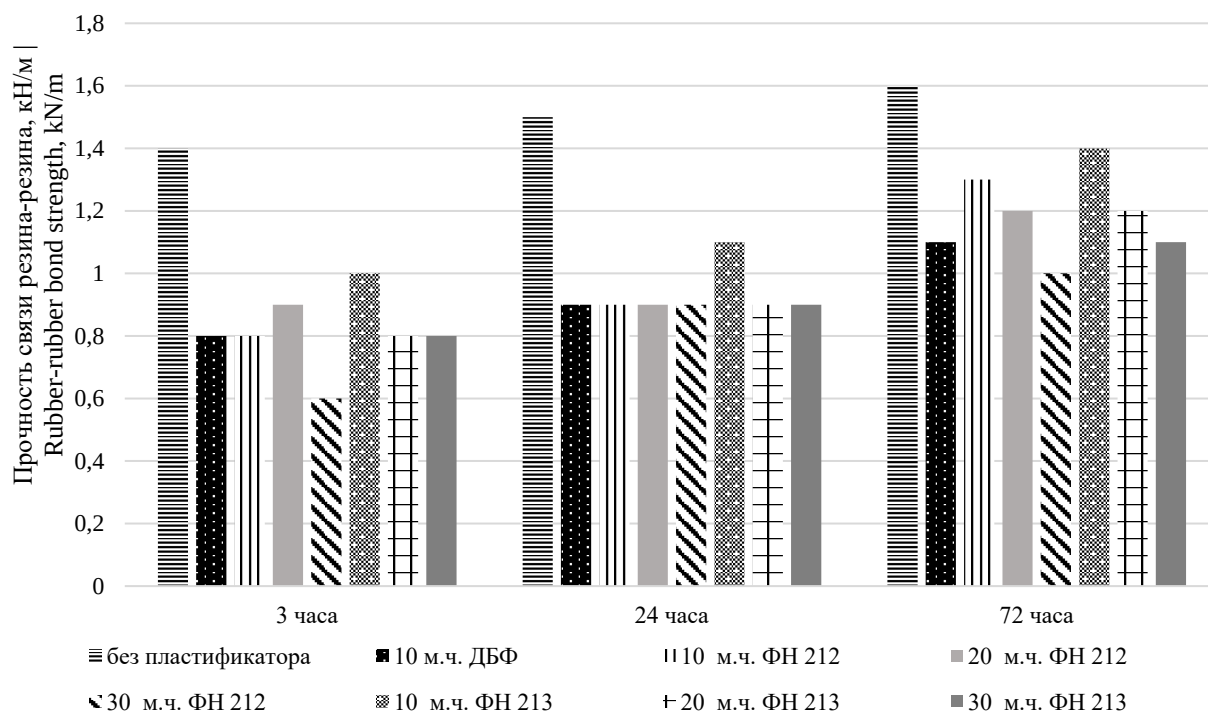


Рисунок 1. Влияние содержания типа и дозировки эко-масел Фитонорман на адгезионные показатели резин на основе БНКС-18АМН

Figure1. Influence of type content and dosage of Phytonorman eco-oils on adhesive properties of rubbers based on BNKS-18AMN

Прочность связи резина-резина на основе БНКС-18 АМН с содержанием масла 10 масс. ч. для Фитонорман-213 снижается на 12%, а для Фитонорман-212 на 25% по сравнению с контрольным образцом и на 31% по сравнению с ДБФ.

Определение температуры стеклования методом ДСК проводили при нормальных условиях и после выдержки в неполярном растворителе (нефрас) в течении 7 суток, результаты приведены на рисунках 2 и 3 соответственно. Метод основан на измерении разности тепловых потоков стандартного и исследуемого образцов при нагревании и охлаждении с постоянной скоростью в области стеклования [15]. Релаксационный пере-

ход стеклования сопровождается скачкообразным ростом теплоемкости полимера и фиксируется на кривой ДСК в виде перегиба. Для получения более точных результатов температуры стеклования необходимо выбирать точку в середине линии перегиба [14]. На рисунке 2 видно, что температура стеклования образца без пластификатора составляет -33°C . В свою очередь введение масла Фитонорман-212 в количестве 10 масс. ч незначительно снижает температур стеклования на 1°C (таблица 5). Пластификатор Фитонорман-213 в аналогичной дозировке способствует понижению температуры стеклования до -42°C .

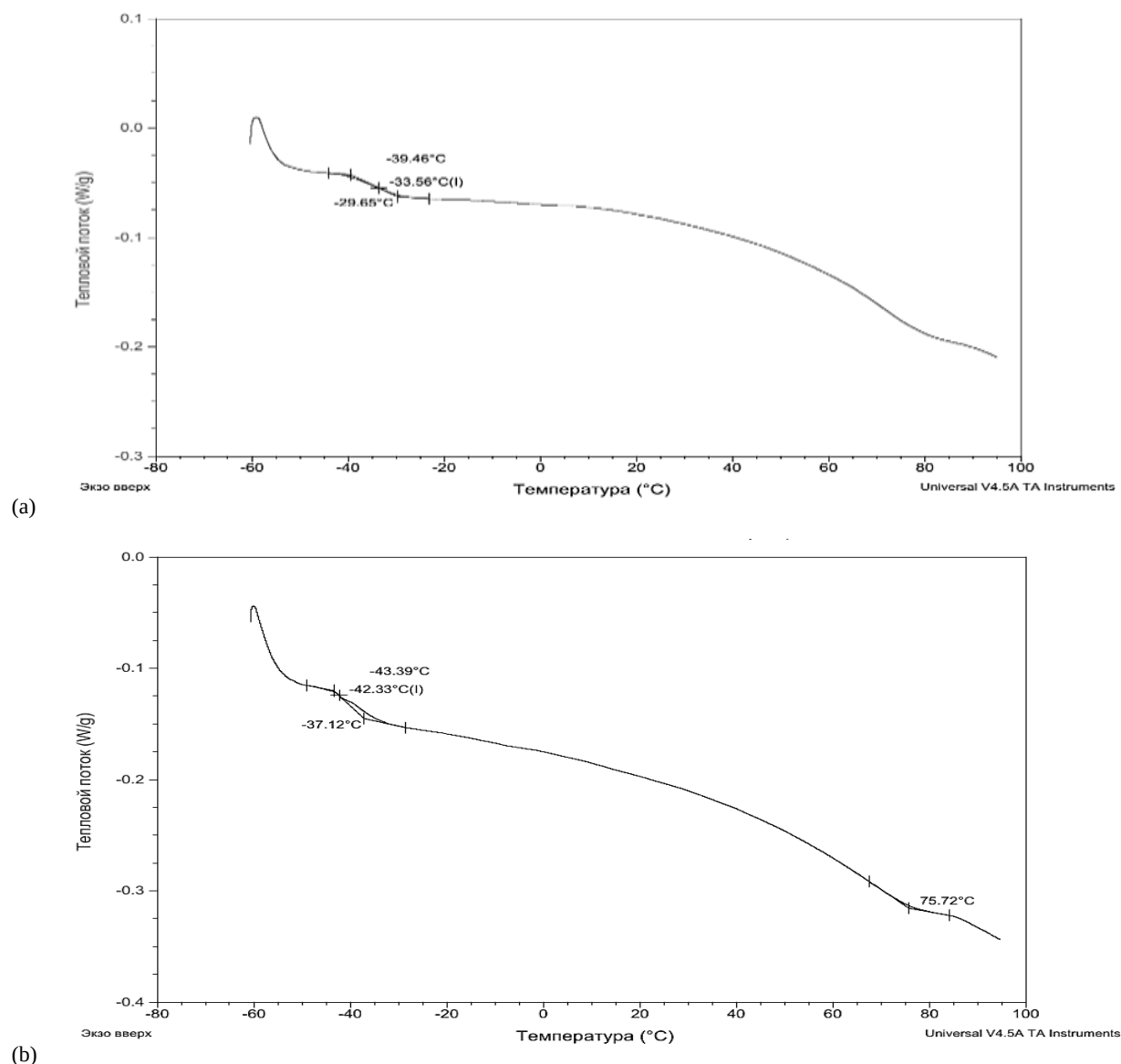


Рисунок 2. ДСК термограммы вулканизатов на основе БНКС-18АМН: (а) – без пластификатора; (б) – 10 масс. ч. Фитонорман-213

Figure 2. DSC thermograms of vulcanizates based on BNKS-18AMN: (a) - without plasticizer; (b) - 10 wt. h. Fitonorm-213

Таблица 4.
Результаты ДСК для резин на основе
БНКС-18АМН

Table 4.
DSC results for rubbers based on BNKS-18AMN

Показатель Indicator	Фитонорман-212, масс. ч Phytonorman 212, mass. h		Фитонорман-213, масс. ч Phytonorman 213, mass. h	
	0	10	10	20
Диапазон t, °C Range t, °C	-40...-30	-38...-31	-43...-37	-40...-37
Tg, °C	-34	-35	-42	-39

Поскольку эксплуатация изделий на основе каучуков БНКС происходит в среде масла и топлива, представляет интерес изучения температуры стеклования резин после контакта с агрессивной средой [16]. В работе в этом качестве использован нефтяной растворитель марки нефрас-С 50/170 [17, 18]. На рисунке 3 представлены ДСК термограммы вулканизатов на основе БНКС-18АМН после выдержки в нефтяном растворителе в течение 7 суток. Наблюдается повышение температуры стеклования у образцов с маслом Фитонорман-213 в среднем на 6 °C, что вероятно вызвано вымыванием пластификатора из массы резины (таблица 6).

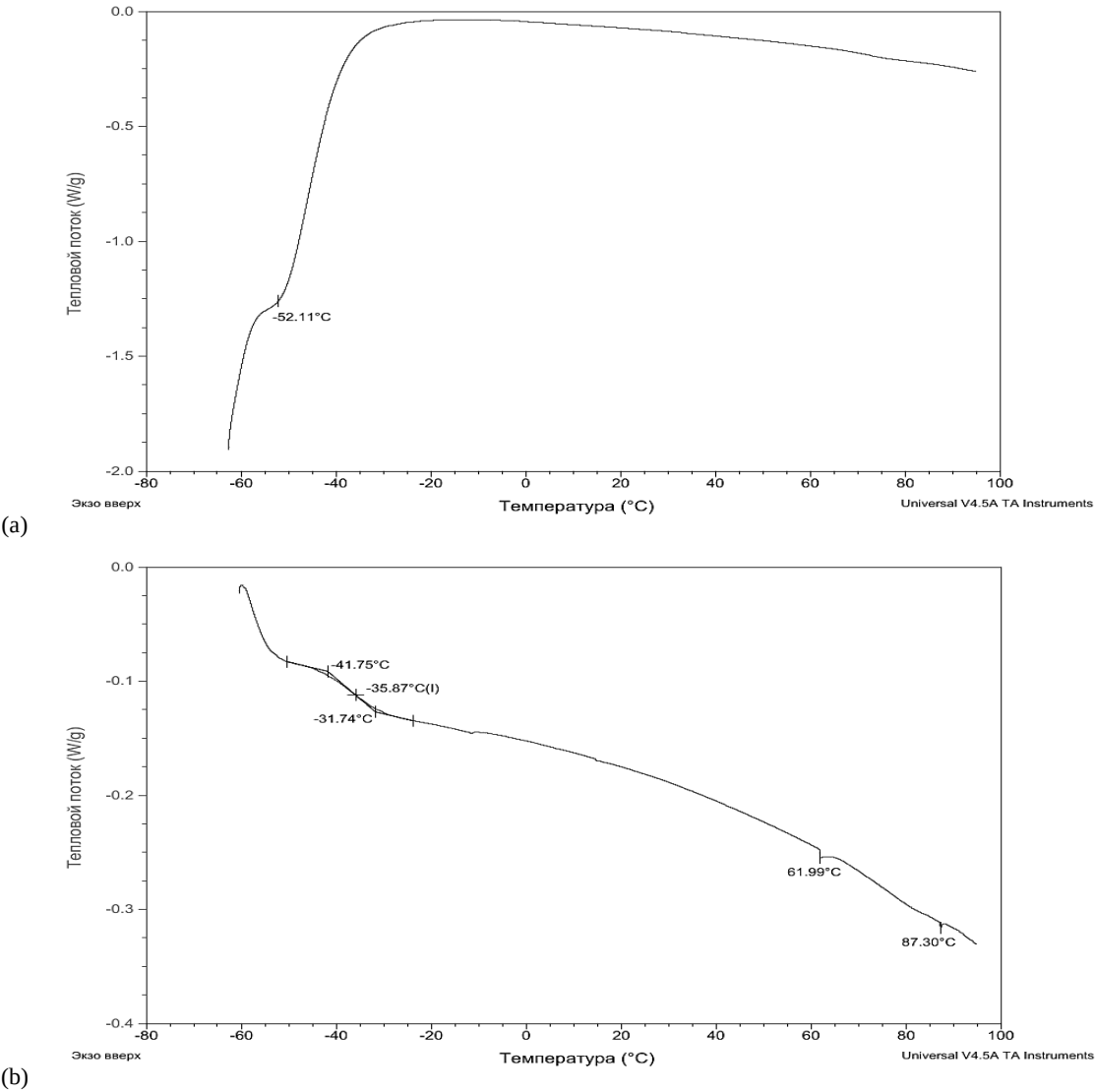


Рисунок 3. ДСК термограммы вулканизатов на основе БНКС-18АМН после выдержки в нефтяном растворителе в течение 7 суток: (а) – без пластификатора; (б) – 10 масс. ч. Фитонорман-213

Figure 3. DSC thermograms of vulcanizates based on BNKS-18AMN after soaking in petroleum solvent for 7 days: (a) - without plasticizer; (b) - 10 wt. h. Fitonorman-213

Таблица 5.
Результаты ДСК для резин на основе
БНКС-18АМН после выдержки в нефтяном
растворителе в течение 7 суток

Table 5.
Results of DSC for rubbers based on BNKS-18AMN
after soaking in a petroleum solvent for 7 days

Показатель Indicator	0	Фитонорман-212, масс. ч Phytonorman 212, mass. h	Фитонорман-213, масс. ч Phytonorman 213, mass. h	Фитонорман-213, масс. ч Phytonorman 213, mass. h
		10	10	20
Диапазон t, °C Range t, °C	–	-39...-29	-42...-32	-38...-28
Tg, °C	-52	-36	-36	-33

Для оценки влияния масел Фитонорман на температуру стеклования был использован метод термомеханического анализа, результаты приведены на рисунке 4. Данный метод заключается в построении термомеханической кривой зависимости деформации от температуры при постоянной нагрузке [19]. Температура стеклования в данном случае является релаксационным переходом от стеклообразного к высокоэластическому состоянию в исследуемых образцах резин с разными типами масел [20]. Из представленных термомеханических кривых видно, что введение масла Фитонорман-213 в количестве 10 масс. ч. в резину понижает температуру стеклования на 2 °C (до –37 °C), а увеличение его дозировки до 20 масс. ч. – на 4 °C (до –39 °C), по сравнению с образцом резин без пластификатора (таблица 7).

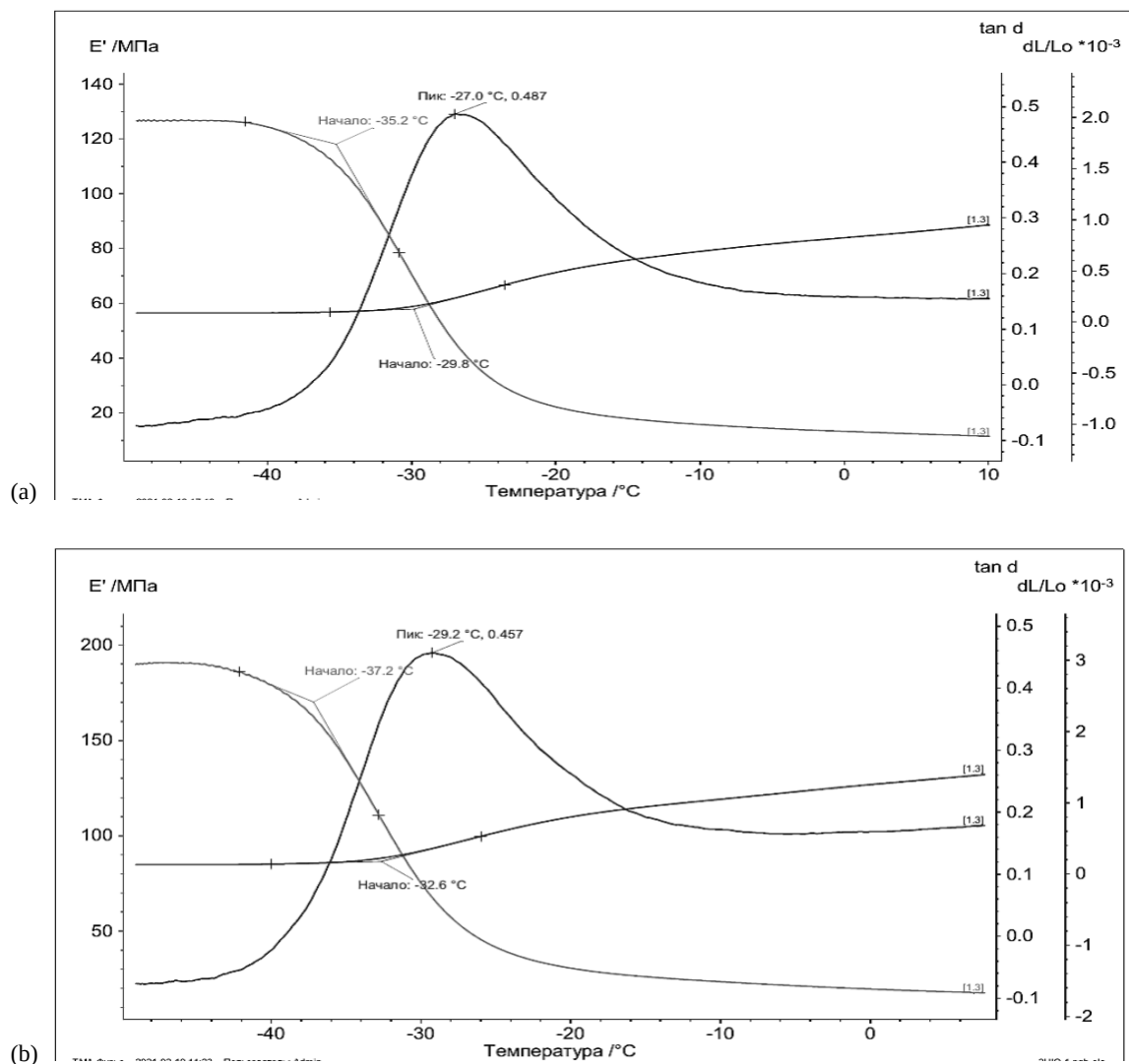


Рисунок 4. Результаты термомеханического анализа Фурье для вулканизатов на основе БНКС-18АМН: а – без пластификатора; в – 10 масс. ч. Фитонорман-213

Figure 4. Results of Fourier thermomechanical analysis for vulcanizates based on BNKS-18AMN: a – without plasticizer; c – 10 wt. h. Fitonormant-213

Таблица 6.

Результаты термомеханического анализа Фурье для резин на основе БНКС-18АМН

Table 6.
Results of Fourier thermomechanical analysis for rubbers based on BNKS-18AMN

Показатель Indicator	0	Фитонорман-212, масс. ч Phytonorman 212, mass. h	Фитонорман-213, масс. ч Phytonorman 213, mass. h	
		10	10	20
T начала по E' T start by E'	-35 °C	-37 °C	-37 °C	-40 °C
Tg по tgδ Tg by tgδ	-27 °C	-28 °C	-29 °C	-31 °C

Таким образом, по комплексу показателей масло Фитонорман-213 имеет преимущество в резинах на основе БКС-18АМН по сравнению с Фитнорман-212.

Заключение

Введение эко-масла Фитонорман-213 в рецептуры резиновых смесей на основе БНКС-18АМН до 10 масс. ч. позволяет улучшить технологические параметры, а именно, снизить усадку на 16%, увеличить пластичность и мягкость на 32 и 15% соответственно, а также понизить температуру стеклования резин. При этом физико-механические параметры и адгезионные свойства вулканизатов снижаются в среднем на 10%. Так же стоит отметить, что резины с маслом Фитонорман-213 по основным характеристикам не уступают нитрильным резинам с ДБФ, а по адгезионным свойствам превосходят на 27%.

Литература

- 1 Дик Д.С. Как улучшить резиновые смеси. 1800 практических рекомендаций для решения проблем; пер. с англ., под ред. БЛ Смирнова. СПб.: Профессия. 2016.
- 2 Павлова В.В., Соколова М.Д., Федорова А.Ф. Влияние содержания и природы пластификатора на свойства бутадиен-нитрильной резины // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. 2021. Т. 14. № 2. С. 222-232.
- 3 Ушмарин Н.Ф., Егоров Е.Н., Кольцов Н.И. Морозостойкая резина на основе комбинации бутадиен-нитрильного и гидроновых каучуков // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2017. Т. 60. № 8. С. 60-64.
- 4 Мухин В. В., Петрова Н.Н. Применение смесей нитрильных и диеновых каучуков в качестве основы для создания резин уплотнительного назначения для техники, эксплуатирующийся в условиях холодного климата // Каучук и резина – 2021: традиции и новации: материалы X Всероссийской конференции. ООО «Издательство «КиР», 2021. С. 75-76.
- 5 Павлова В.В., Соколова М.Д., Федорова А.Ф. Влияние содержания и природы пластификатора на свойства бутадиен-нитрильной резины // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. 2021. Т. 14. № 2. С. 222-232.
- 6 Богомазова Е.С., Минигалиев Т.Б. Изучение влияния нового мягчителя Фитонорман 212 на технологические и вулканизационные свойства протекторной резины // Промышленное производство и использование эластомеров. 2016. № 2. С. 13–15.
- 7 Орлова Е.А. и др. Свойства резиновых смесей на основе Фитонорман 212 и 213 в сравнении с рапсовым маслом // Резиновая промышленность: сырье, материалы, технология. 2019. С. 79–81.
- 8 Котова С.В., Люсова Л.Р., Наумова Ю.А. и др. Особенности использования масел серии PHYTONORMAN в резинах на основе бутадиен-нитрильного каучука БНКС 28 АМН // Каучук и резина. 2020. Т. 79. № 3. С. 134–139.
- 9 Кольцов Н.И., Ушмарин Н.Ф., Исакова С.А., Виногорова С.С. Исследование влияния пластификаторов ПФФ-1 и трихлорэтилфосфата на технологические, физико-механические свойства и морозостойкость резин на основе бутадиен-нитрильных каучуков // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 17. С. 41-44.
- 10 Мясникова Н.С., Селюгина Е.Г. О влиянии межфазных взаимодействий на свойства резин на основе бутадиен-нитрильных каучуков // Вопр. Обор. Техники. Сер. 15. Композиционные неметаллические материалы в машиностроении. 2014. Т. 175. № 4. С. 28-33.
- 11 Аликберов А.С. и др. Особенности вулканизации БНК новых марок // Каучук и резина. 1988. № 5. С. 16–18.
- 12 Широкова Е.С., Фомин С.В. Изучение массопереноса сложноэфирного пластификатора в вулканизатах на основе бутадиен-нитрильных каучуков // Вестник Казанского технологического университета. 2008. № 6. С. 100-103.
- 13 Концеренко М.В., Христолюбов А.А., Тюрина Н.Д., Ефимов В.А. и тд. Исследование вязкостных свойств растворов каучука скмс-30аркп в дициклопентадиене // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология 2006. Т. 49. № 3. С. 50–52.
- 14 Дудина Е.С., Медведева К.А., Черезова Е.Н. Термический анализ процесса отверждения и термостойкости эпоксиаминных полимеров, модифицированных деструктатами силоксановых резин // Вестник технологического университета. 2018. Т. 21. № 9. С. 62-65.
- 15 Малышева Г.В., Ахметова Э.Ш., Шиминова Ю.Ю. Оценка температур фазовых переходов полимерных связующих методом дифференциально-сканирующей калориметрии // Клеи. Герметики. Технологии. 2014. № 6. С. 29-33.
- 16 Лопатина, С.С., Ваниев М.А., Сычев Н.В., Савченко Я.Ю. и тд. Набухание резин на основе бутадиен-нитрильных каучуков в водных растворах хлорида натрия при повышенной температуре // Промышленное производство и использование эластомеров. 2019. № 4. С. 22-26.
- 17 Федорова А.Ф., Давыдова М.Л., Шадрин Н.В., Борисова А.А. и т.д. Исследование изменения свойств уплотнительных резин в условиях воздействия углеводородной среды и температурного режима // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2022. Т. 27. № 2. С. 316-326.
- 18 Чайкун А.Н., Венедиктова М.А., Елисеев О.А., Наумов И.С. Исследование топливостойких резин на основе бутадиен-нитрильных каучуков, изготовленных с применением эмульгаторов различных типов // Труды ВИАМ. 2014.
- 19 Горбовец М.А., Кочетков Д.А., Ходинев И.А. Анализ и сравнение российского и зарубежного стандартов, устанавливающих методы испытаний на термомеханическую усталость // Труды ВИАМ. 2014.
- 20 Папков В.Н., Юрьев А.Н., Скачков А.М., Роднянский Д.А. и тд. Разработка оптимальных условий получения бутадиен-нитрильных каучуков с повышенной морозостойкостью // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 1. С. 32-34.

References

- 1 Dick D.S. How to improve rubber compounds. 1800 practical recommendations for solving problems; lane from English, ed. BL Smirnova. SPb.: Profession. 2016. (in Russian).
- 2 Pavlova V.V., Sokolova M.D., Fedorova A.F. The influence of the content and nature of the plasticizer on the properties of butadiene-nitrile rubber. Journal of the Siberian Federal University. Technics and technology. 2021. vol. 14. no. 2. pp. 222-232. (in Russian).
- 3 Ushmarin N.F., Egorov E.N., Koltsov N.I. Frost-resistant rubber based on a combination of nitrile butadiene and hydriin rubbers. News of higher educational institutions. Chemistry and chemical technology. 2017. vol. 60. no. 8. pp. 60-64. (in Russian).
- 4 Mukhin V.V., Petrova N.N. The use of mixtures of nitrile and diene rubbers as a basis for creating sealing rubbers for equipment operating in cold climates. Rubber and Rubber -2021: traditions and innovations: materials of the X All-Russian Conference. LLC Publishing House "KiR", 2021. pp. 75-76. (in Russian).
- 5 Pavlova V.V., Sokolova M.D., Fedorova A.F. The influence of the content and nature of the plasticizer on the properties of butadiene-nitrile rubber. Journal of the Siberian Federal University. Technics and technology. 2021. vol. 14. no. 2. pp. 222-232. (in Russian).
- 6 Bogomazova E.S., Minigaliev T.B. Study of the influence of the new softener Fitonorman 212 on the technological and vulcanization properties of tread rubber. Industrial production and use of elastomers. 2016. no. 2. pp. 13–15. (in Russian).

- 7 Orlova E.A. et al. Properties of rubber mixtures based on Fitonorm 212 and 213 in comparison with rapeseed oil. Rubber industry: raw materials, materials, technology. 2019. pp. 79–81. (in Russian).
- 8 Kotova S.V., Lyusova L.R., Naumova Yu.A. et al. Features of the use of PHYTONORMAN series oils in rubbers based on nitrile butadiene rubber BNKS 28 AMN. Rubber and Rubber. 2020. vol. 79. no. 3. pp. 134–139. (in Russian).
- 9 Koltsov N.I., Ushmarin N.F., Issakova S.A., Vinogorova S.S. Study of the influence of plasticizers PEF-1 and trichlorethyl phosphate on the technological, physical and mechanical properties and frost resistance of rubbers based on nitrile butadiene rubbers. Bulletin of the Kazan Technological University. 2012. vol. 15. no. 17. pp. 41–44. (in Russian).
- 10 Myasnikova N.S., Selyugina E.G. On the influence of interfacial interactions on the properties of rubbers based on nitrile butadiene rubbers. Vopr. Obor. Technicians. Ser. 15. Composite non-metallic materials in mechanical engineering. 2014. vol. 175. no. 4. pp. 28–33. (in Russian).
- 11 Alikberov A.S. et al. Features of vulcanization of new grades of non-woven materials. Rubber and Rubber. 1988. no. 5. pp. 16–18. (in Russian).
- 12 Shirokova E.S., Fomin S.V. Study of mass transfer of ester plasticizer in vulcanizates based on nitrile butadiene rubbers. Bulletin of the Kazan Technological University. 2008. no. 6. pp. 100–103. (in Russian).
- 13 Kontserenko M.V., Khristolubov A.A., Tyurina N.D., Efimov V.A. et al. Study of the viscosity properties of solutions of SKMS-30arkp rubber in dicyclopentadiene. News of higher educational institutions. Chemistry and chemical technology 2006. vol. 49. no. 3. pp. 50–52. (in Russian).
- 14 Dudina E.S., Medvedeva K.A., Cherezova E.N. Thermal analysis of the curing process and heat resistance of epoxyamine polymers modified with siloxane rubber destructors. Bulletin of the Technological University. 2018. vol. 21. no. 9. pp. 62–65. (in Russian).
- 15 Malysheva G.V., Akhmetova E.Sh., Shimina Yu.Yu. Estimation of phase transition temperatures of polymer binders using differential scanning calorimetry. Adhesives. Sealants. Technologies. 2014. no. 6. pp. 29–33. (in Russian).
- 16 Lopatina, S.S., Vaniev M.A., Sychev N.V., Savchenko Y.Yu. et al. Swelling of rubbers based on nitrile butadiene rubbers in aqueous solutions of sodium chloride at elevated temperatures. Industrial production and use of elastomers. 2019. no. 4. pp. 22–26. (in Russian).
- 17 Fedorova A.F., Davydova M.L., Shadrinov N.V., Borisova A.A. et al. Study of changes in the properties of sealing rubber under the influence of a hydrocarbon environment and temperature conditions. Natural resources of the Arctic and Subarctic. 2022. vol. 27. no. 2. pp. 316–326. (in Russian).
- 18 Chaikun A.N., Venediktova M.A., Eliseev O.A., Naumov I.S. Study of fuel-resistant rubbers based on nitrile butadiene rubbers made with the use of various types of emulsifiers. Proceedings of VIAM. 2014. (in Russian).
- 19 Gorbovets M.A., Kochetkov D.A., Khodinev I.A. Analysis and comparison of Russian and foreign standards establishing test methods for thermomechanical fatigue. Proceedings of VIAM. 2014. (in Russian).
- 20 Papkov V.N., Yuryev A.N., Skachkov A.M., Rodnyansky D.A. et al. Development of optimal conditions for the production of nitrile-butadiene rubbers with increased frost resistance // Proceedings of VSUET. 2022. vol. 84. no. 1. pp. 32–34. (in Russian).

Сведения об авторах

Инна И. Боброва аспирант, кафедра химии и технологии переработки эластомеров им. Ф.Ф. Кошелева, Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова «МИРЭА – Российский технологический университет», пр-т Вернадского, д. 86, г. Москва, 119571, Россия, bobrovaini@ya.ru

Светлана В. Котова к.т.н., доцент, кафедра химии и технологии переработки эластомеров им. Ф.Ф. Кошелева, Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова «МИРЭА – Российский технологический университет», пр-т Вернадского, д. 86, г. Москва, 119571, Россия, s.v.kotova@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7076-4669>

Юлия А. Наумова д.т.н., профессор, кафедра химии и технологии переработки эластомеров им. Ф.Ф. Кошелева, Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова «МИРЭА – Российский технологический университет», пр-т Вернадского, д. 86, г. Москва, 119571, Россия, naumova_yulia@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9968-8244>

Вклад авторов

Инна И. Боброва провела эксперимент, выполнила расчёты, написала рукопись, несёт ответственность за плагиат

Светлана В. Котова обзор литературных источников по исследуемой проблеме, консультация в ходе исследования

Юлия А. Наумова консультация в ходе исследования, корректировала рукопись до подачи в редакцию

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Inna I. Bobrova graduate student, chair of chemistry and processing technology of elastomers, M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies, MIREA - Russian Technological University, Vernadskogo Pr., 86 Moscow, 119571, Russia, bobrovaini@ya.ru

Svetlana V. Kotova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, chair of chemistry and processing technology of elastomers, M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies, MIREA - Russian Technological University, Vernadskogo Pr., 86 Moscow, 119571, Russia, s.v.kotova@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7076-4669>

Yulia A. Naumova Dr. Sc. (Tech. Sc.), Professor, Chair of Chemistry and Processing Technology of Elastomers, M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies, MIREA - Russian Technological University, Vernadskogo Pr., 86 Moscow, 119571, Russia, naumova_yulia@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9968-8244>

Contribution

Inna I. Bobrova conducted an experiment, performed computations, wrote the manuscript, is responsible for plagiarism

Svetlana V. Kotova review of the literature on an investigated problem, consultation during the study

Yulia A. Naumova consultation during the study, correct manuscript before filing in editing

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 03/04/2023	После редакции 24/04/2023	Принята в печать 18/05/2023
Received 03/04/2023	Accepted in revised 24/04/2023	Accepted 18/05/2023

Получение фосфорного удобрения с дополнительными питательными элементами

Мухтар М. О. Самедов	¹	samedov-muxtar@mail.ru	 0000-0003-3960-5835
Джеухун М. О. Мустафа-заде	¹	alexeytranslate@gmail.com	 0000-0003-0134-3315
Гюльнуре М. К. Мамедова	¹	gulnure55@gmail.com	 0000-0001-5743-510X
Садегюл Г. К. Джавадова	²	kamal.cavadov.94@mail.ru	 0000-0002-8931-1432

¹ Сумгаитский государственный университет, 43-ий квартал, г. Сумгаит, AZ5008, Азербайджанская Республика

² Азербайджанский университет нефти и промышленности, пр-кт Азадлыг, 20, AZ5008, г. Баку, Азербайджанская Республика

Аннотация. С целью получения фосфорного удобрения, обогащенного дополнительными питательными элементами, процесс разложения апатитового концентрата серной кислотой осуществляли с добавкой, в первом варианте – гидрофосфатом аммония, а во втором варианте – гидрофосфатами аммония и калия. Экспериментальными исследованиями изучено влияние добавок на процесс взаимодействия серной кислоты с фторапатитом, а также рентгенофазовыми и ИК-спектроскопическими анализами изучен структурный состав полученного продукта. Установлено, что с применением добавок, полученное фосфорное удобрение содержит наряду с дигидрофосфатом кальция, также дигидрофосфат аммония. Отличительной особенностью является разложение фосфатов сернокислотного типа, в результате чего получается переходящий в твердую фазу малорастворимый сульфат кальция, который имеет следы присутствия в полученном удобрении, а также может не входить в состав раствора. Процесс разложения фторапатита серной кислотой с использованием добавочной части $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, оптимальное количество добавочной части необходимо считать 12–18%-ную (от массы серной кислоты) добавку, при этом достигается наиболее высокая степень разложения апатитового концентрата, которая составляет 95–97%. Проведенные исследования установили, что введение добавки – гидрофосфатов аммония и калия – в процесс сернокислотного разложения апатитового концентрата также положительно влияет на продолжительность периода созревания суперфосфата. Для уточнения структурного состава готового продукта были проведены рентгенофазовые исследования и ИК-спектрометрический анализ порошкообразного продукта. Таким образом, минеральные удобрения, полученные с применением добавок, имеющим в своем составе дополнительный питательный элемент, а именно азот – в первом варианте, а азотом и калием – во втором варианте.

Ключевые слова: фосфорные удобрения, интенсифицирующие добавки, разложение, фторапатит, обогащение, гидрофосфаты аммония и калия.

Obtaining phosphate fertilizer with additional nutrients

Mukhtar M. O. Samedov	¹	samedov-muxtar@mail.ru	 0000-0003-3960-5835
Jeyhun M. O. Mustafa-zadeh	¹	alexeytranslate@gmail.com	 0000-0003-0134-3315
Gulnure M. K. Mammadova	¹	gulnure55@gmail.com	 0000-0001-5743-510X
Sadegyul G. K. Javadova	²	kamal.cavadov.94@mail.ru	 0000-0002-8931-1432

¹ Sumgait State University, 43rd Quarter, Sumgait, AZ5008, Republic of Azerbaijan

² Azerbaijan University of Petroleum and Industry, Azadlig Ave., 20, AZ5008, Baku, Azerbaijan Republic

Abstract. In order to obtain phosphorus fertilizer enriched with additional nutrients, the decomposition process of apatite concentrate with sulfuric acid was carried out with an additive, in the first variant – ammonium hydrophosphate, and in the second variant – ammonium and potassium hydrophosphates. Experimental studies have studied the effect of additives on the interaction of sulfuric acid with fluorapatite, as well as X-ray phase and IR spectroscopic analyses have studied the structural composition of the resulting product. It was found that with the use of additives, the resulting phosphorus fertilizer contains, along with calcium dihydrophosphate, also ammonium dihydrophosphate. A distinctive feature is the decomposition of sulfuric acid phosphates, resulting in a poorly soluble calcium sulfate that passes into the solid phase, which has traces of its presence in the resulting fertilizer, and may also not be part of the solution. The process of decomposition of fluorapatite with sulfuric acid using an additional part $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, the optimal amount of the additional part should be considered 12–18% (by weight of sulfuric acid) additive, while the highest degree of decomposition of apatite concentrate is achieved, which is 95–97%. The conducted studies have established that the introduction of an additive – ammonium and potassium hydrophosphates – into the process of sulfuric acid decomposition of apatite concentrate also has a positive effect on the duration of the superphosphate maturation period. To clarify the structural composition of the finished product, X-ray phase studies and IR spectrometric analysis of the powdered product were carried out. Thus, mineral fertilizers obtained with the use of additives having an additional nutrient element in their composition, namely nitrogen – in the first variant, and nitrogen and potassium – in the second variant.

Keywords: phosphorus fertilizers, intensifying additives, decomposition, fluorapatite, enrichment, ammonium and potassium hydrophosphates.

Для цитирования

Самедов М.М.О., Мустафа-заде Дж.М.О., Мамедова Г.М.К., Джавадова С.Г.К. Получение фосфорного удобрения с дополнительными питательными элементами // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 2. С. 198–204. doi:10.20914/2310-1202-2023-2-198-204

For citation

Samedov M.M.O., Mustafa-zade J.M.O., Mammadova G.M.K., Javadova S.G.K. Obtaining phosphate fertilizer with additional nutrients. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 2. pp. 198–204. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-2-198-204

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

Введение

Общепринято, что разложение апатитового концентрата кислотами приводит к образованию фосфорной кислоты, а также соответствующих солей кальция. Данные фосфорные кислоты и соли кальция отличаются высокой растворимостью (примером служит растворение в азотной или соляной кислотах). В результате дальнейшая переработка данных полученных растворов в получении удобрений производится с помощью выделения и связывания некоторых частей кальция с целью исключения превращений в сфере химических реакций, в результате которого появляются неусвояемые, трудноусвояемые растения соединений фосфата. Отличительной чертой является разложение фосфатов сернокислотного типа, в результате которого получаем

малорастворимый сульфат кальция, переходящий в твердую фазу, который имеет следы присутствия в полученном удобрении, а также может не входить в состав раствора [1–4].

Материалы и методы

Интенсификационный процесс при разложении природного фосфата серной кислотой включает в себя использование 40%-ного раствора $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ как добавки. Экспериментальные исследования осуществляли по известной методике [5]. Схема процесса представлена на рисунке 1. Все применяемые в работе реактивы имели марку ХЧ и были приобретены посредством компании «АО Реахим» (Россия).

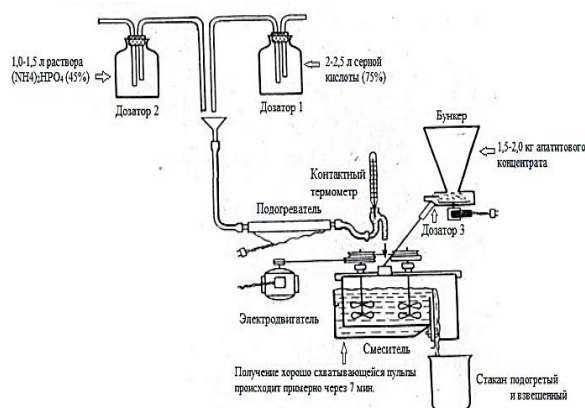


Рисунок 1. Схема получения суперфосфата с применением раствора $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ (40%) как интенсифицирующей добавки. Составлено по данным [6]

Figure 1. Scheme for obtaining superphosphate using a solution of $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ (40%) as an intensifying additive. Compiled according to [6]

Ранее было установлено при 65°C достигается максимальная (88,2%) степень разложения сырья через 90 мин. Поэтому подогрев выполняли до нужной температуры, а после заполнения стакана его выдерживали в термостате (1100°C) 90 мин. и получали готовое фосфорсодержащее минеральное удобрение [6]. Предложенный

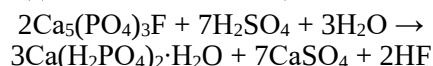
способ сравнивали с получением суперфосфата обычным способом, где для получения суперфосфата добавляли только серную кислоту в количестве 2,8–3,5 л на тот же вес апатитового концентрата (рисунок 1).

Проведены отдельные эксперименты по добавлению в качестве интенсифицирующей добавки смеси гидрофосфатов аммония / калия и воды следующих составов (% масс.): (1) 8, 2, 90; (2) 12, 4, 84; (3) 15, 6, 79; (4) 18, 8, 76; (5) 22, 10, 68; (6) 25, 12, 63; (7) 28, 14, 58; (8) 30, 16, 54.

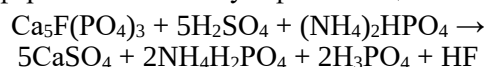
Рентгенограммы образцов суперфосфата сняты на дифрактометре DPOH-3 при облучении CuK_α в Ni фильтре. При снятии дифрактограм образцов суперфосфата скорость движения счетчика составляла 2 и 4 град/мин; точность отсчета по диаграмме $\pm 0,2$ мм; погрешность определения межплоскостных расстояний равнялась 1%. Для объяснения вещественно-структурных особенностей полученного продукта использован метод ИК-спектроскопии. ИК-спектры были сняты на спектрометре марки ИР-20 (Россия).

Результаты

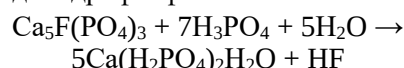
При обычном способе получения суперфосфата требуется повышенный объем серной кислоты, если сравнивать необходимое количество кислоты для связывания кальция в апатите [6, 7]:



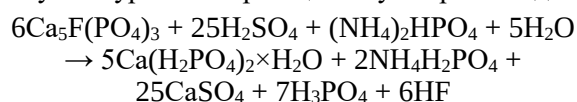
В предложенном способе добавление в качестве реагента гидрофосфата аммония позволяет получить смесь дигидрофосфата кальция и аммония. Последний обогащает конечное удобрение азотом. Выяснено при процессе разложения фторапатита серной кислотой с добавкой гидрофосфата аммония и без нее включает в себя два процесса [8]. Фторапатит и серная кислота имеют реагирование до образования свободной фосфорной кислоты и сульфата кальция:



Когда серная кислота полностью используется, появляется фосфорная кислота, которая вступает в реакцию с фторапатитом, образующий кальцийдигидрофосфат:



Полученный монокальцийфосфат держат сначала в растворе, в котором происходит процесс пересыщения – кристаллизации. Коэффициенты в уравнениях свидетельствуют о 70% реакции в первой стадии при наличии стехиометрических соотношений компонентов, а на второй стадии реагирует только 30% фторапатита. Отсюда получаем уравнение реакции в суммарном виде:



Количество суперфосфата и сама степень разложения апатитового концентрата имеет изменения при добавлении гидрофосфата аммония, которые отражены в таблице 1, из которой видно, что при использовании интенсифицирующей

добавки гидрофосфата аммония процесс разложения фторапатита в суперфосфате при десятидневном дозревании ускоряется. Так, увеличение добавки до 18% от массы серной кислоты процесс разложения определяется до 96,04%.

Таблица 1.
Состав суперфосфата и степени разложения фторапатита в зависимости от количества добавки гидрофосфата аммония

Table 1.

The composition of superphosphate and the degree of decomposition of fluorapatite, depending on the amount of ammonium hydrophosphate additive

Количество (Quantity) (NH ₄) ₂ HPO ₄ , % от m H ₂ SO ₄	Состав суперфосфата после 10-ти суточного дозревания, масс. % Superphosphate composition after 10 days ripening, wt. %				Степень разложения, % Degree of decomposition, %
	P ₂ O ₅ общ. / усв. / водн.	P ₂ O ₅ своб.	N	H ₂ O	
0	21,32 / 9,59 / 18,66	7,23	—	9,89	91,88
5	21,24 / 19,96 / 19,08	6,82	0,69	8,92	93,97
8	21,19 / 20,11 / 18,749	6,64	0,97	8,47	94,90
12	21,12 / 20,24 / 18,68	6,39	1,38	7,86	95,83
15	21,08 / 20,46 / 18,59	6,17	1,95	7,53	97,06
18	20,98 / 20,15 / 18,54	5,96	2,36	7,18	96,04
22	20,76 / 19,50 / 18,36	6,71	2,71	6,95	93,93
26	20,53 / 19,08 / 18,12	6,93	2,98	6,72	92,94

Данный показатель является повышенной степенью разложения и свидетельствует об использовании добавки (NH₄)₂HPO₄ как реагента, стимулирующего введение дополнительных ионов HPO₄²⁻ и имеющего высокое влияние на водородные ионы, которые положительно воздействуют на глубину разложения апатитового концентрата. При этом, если увеличить массу добавки на 22% и выше, процесс считается нецелесообразным, так как приводит к снижению степени разложения фторапатита в суперфосфате. Большое использование данной добавки приводит к появлению множества мелких кристаллов сульфата кальция, которые осаждаются на поверхности частиц апатита, тем самым являются большим препятствием для диффузии кислоты к зернам апатита.

Анализ данных таблицы 1 показывает, что количественный состав добавки, находящийся в интервальном отрезке 12–18% от массы серной кислоты считается целесообразным, так как отличается высокой степенью разложения при сумме питательных составляющих, равной 21,62–22,51%. В итоге, оптимальный процесс разложения фторапатита серной кислотой с достигается

при количестве добавочной части (NH₄)₂HPO₄ 12–18% от массы серной кислоты. При этом достигается наиболее высокая степень разложения апатитового концентрата, которая составляет 95–97%.

Далее исследовали влияние состава добавки на качественные показатели готового продукта и степень разложения апатитового концентрата. Полученные данные эксперимента представлены в таблице 2.

Как видно из таблицы 2, при низких концентрациях добавки (опыты 1–3) существенных изменений в составе полученного суперфосфата не происходит, но с увеличением концентрации добавки увеличивается степень разложения апатитового концентрата (опыты 4–6), а конечный продукт имеет добавки питательных элементов – азота и калия. Дальнейшее увеличение концентрации добавки (опыты 7, 8) является нецелесообразным, так как происходит некоторое снижение степени разложения сырья и уменьшение содержания P₂O₅своб. в готовом суперфосфате. Следовательно, оптимальным составом добавки следует считать % масс.: NH₄HSO₄ – 18–25; K₂CO₃ – 8–12; H₂O – 76–63.

Таблица 2.
Состав суперфосфата и степень разложения апатита в готовом продукте в зависимости от состава добавки

Table 2.

The composition of superphosphate and the degree of decomposition of apatite in the finished product, depending on the composition of the additive

Состав добавки, % масс. Additive composition, % wt	Показатели суперфосфата, % масс. Superphosphate parameters, % wt				Степень разложения, % Degree of decomposition, %
	P ₂ O ₅ общ. / усв. / своб.	N	K ₂ O	H ₂ O	
(NH ₄) ₂ HPO ₄ / K ₂ HPO ₄ / H ₂ O					
8 / 2 / 90	21,18 / 19,70 / 6,68	0,39	0,34	8,05	93,01
12 / 4 / 84	20,83 / 19,59 / 6,40	0,61	0,70	7,83	94,05
15 / 6 / 79	20,41 / 19,39 / 6,27	0,75	0,98	7,67	95,00
18 / 8 / 76	20,05 / 19,48 / 5,95	1,00	1,40	7,44	97,16
22 / 10 / 68	19,70 / 19,31 / 5,63	1,18	1,72	7,26	98,02
25 / 12 / 63	19,42 / 18,84 / 5,42	1,30	2,10	7,04	97,01
28 / 14 / 58	18,86 / 17,90 / 5,38	1,42	2,38	6,85	94,91
30 / 16 / 54	18,54 / 17,40 / 5,33	1,56	2,70	6,71	93,85

Проведенными исследованиями установлено, что введение добавок гидрофосфатов аммония и калия в процесс сернокислотного разложения апатитового концентрата оказывает положительное влияние также на продолжительность срока созревания суперфосфата. При этом оптимальное значение количества добавки, равное 22 и 10% от массы серной кислоты для гидрофосфатов аммония и калия соответственно, способствует максимальному разложению апатита и дальнейшему процессу вызревания суперфосфата.

Предложенный метод получения суперфосфата, обогащенного добавками азота и калия, прошел испытания на Сумгайтском суперфосфатном заводе. Получено фосфорное удобрение с включением добавочных компонентов, а именно гидрофосфатов аммония и калия. Разработанная технология является легко осуществимой и целесообразной для решения задачи обогащения состава удобрения. При оптимальных количестве и составе добавки полученный продукт обладает хорошими физико-химическими свойствами, становится более рассыпчатым, пористым, устойчивым к механическим воздействиям с точки зрения тиксотропных свойств и обогащен добавочно питательными элементами – азотом (N – 1,0–1,3% масс.) и калием (K_2O – 1,4–2,1% масс.). Для уточнения структурного состава готового продукта проведены рентгенофазовые исследования и ИК – спектрометрический анализ порошкообразного продукта. В качестве сравнения использовали образец суперфосфата, полученного обычным способом.

Из дифрактограммы образцов суперфосфата следует, что в обычном суперфосфате в основном содержатся дигидрофосфат кальция и сульфат кальция с различной степенью гидратации (рисунок 2, дифрактограмма № 1). При добавке гидрофосфата аммония в 8% от массы серной кислоты существенных изменений в фазовом составе суперфосфата не наблюдается, за исключением появления новых полос дигидрофосфата аммония – V (см. рисунок 2, дифрактограмма № 2). При добавлении гидрофосфата аммония с 12 и 15%-й концентрации (от массы серной кислоты) интенсивность полос дигидрофосфата аммония (V) увеличивается (рисунок 3).

На ИК-спектрограммах представлены спектры суперфосфата, полученного с 10 и 12%-ной добавкой раствора гидрофосфата аммония (рисунок 4, спектры 1 и 2) и суперфосфата, полученного обычным способом (рисунок 4, спектр 3).

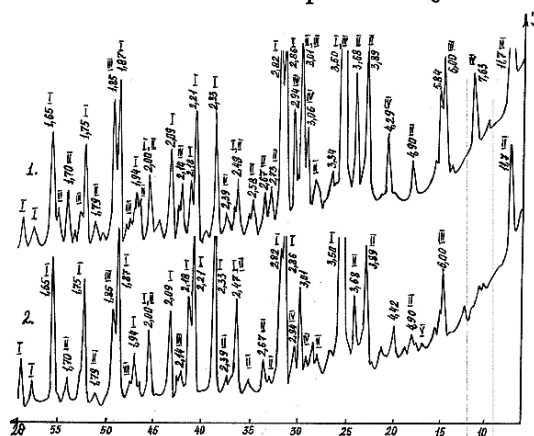


Рисунок 2. Дифрактограммы простого суперфосфата (№ 1) и суперфосфата, полученного с 8%-ной (от массы серной кислоты) добавкой гидрофосфата аммония (№ 2)

Figure 2. Diffractograms of simple superphosphate (No. 1) and superphosphate obtained with 8% (by weight of sulfuric acid) addition of ammonium hydrophosphate (No. 2): I – $CaSO_4$; II – $Ca(H_2PO_4)_2$; III – $CaSO_4 \times 0,5 H_2O$; IV – $CaHPO_4 \times 2H_2O$; V – $NH_4H_2PO_4$

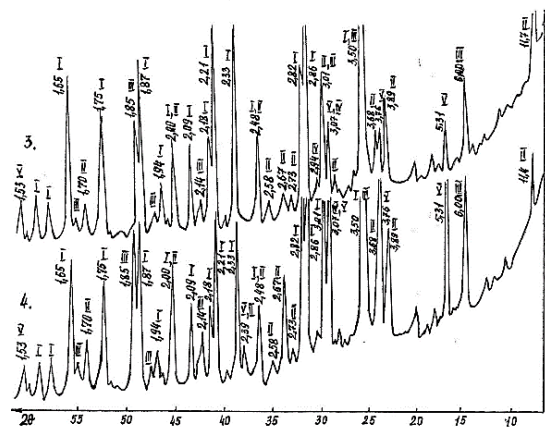


Рисунок 3. Дифрактограммы образцов суперфосфата, полученного с 12 и 15%-ной (от массы серной кислоты) добавкой гидрофосфата аммония (соответственно № 3 и № 4)

Figure 3. Diffractograms of samples of superphosphate obtained with 12 and 15% (by weight of sulfuric acid) addition of ammonium hydrophosphate (co-responsible No. 3 and No. 4): I – $CaSO_4$; II – $Ca(H_2PO_4)_2$; III – $CaSO_4 \times 0,5 H_2O$; IV – $CaHPO_4 \times 2H_2O$; V – $NH_4H_2PO_4$

На рисунок 5 представлены спектры химически чистого дигидрофосфата кальция (рисунок 5. спектр 1), дигидрофосфата аммония (рисунок 5. спектр 2) и суперфосфата, полученного с 15-ти процентной добавкой гидрофосфата аммония (рисунок 5. спектр 3). При сравнении спектров суперфосфатов, полученных без добавки и с добавкой гидрофосфата аммония видно, что появляются линии поглощения 1405 и 1445 cm^{-1} , соответствующие NH_4^+ иону и характерные для деформационных комбинаций, они не перекрываются другими полосами. Наличие данной полосы подтверждает присутствие дигидрофосфата аммония в исследуемом продукте.

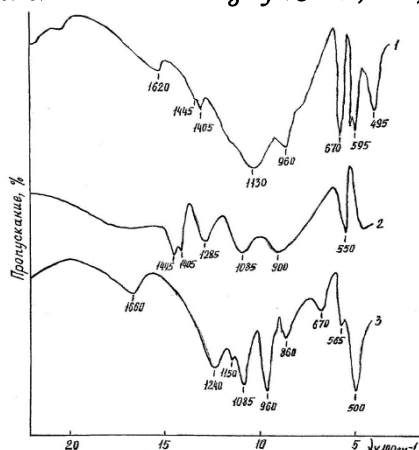


Рисунок 4. ИК – спектры суперфосфата, полученного с добавкой (10 и 12% от массы серной кислоты) гидрофосфата аммония (спектры 1 и 2) и суперфосфата без добавки (спектр 3)

Figure 4. IR spectra of superphosphate obtained with the addition (10 and 12% by weight of sulfuric acid) of ammonium hydrophosphate (spectra 1 and 2) and superphosphate without the addition (spectrum 3)

Таким образом, результаты рентгенографических и ИК-спектроскопических исследований подтвердили, что при введении гидрофосфата аммония в процесс разложения апатита серной кислотой полученный суперфосфат наряду с кальцийдигидрофосфатом содержит также аммонийдигидрофосфат.

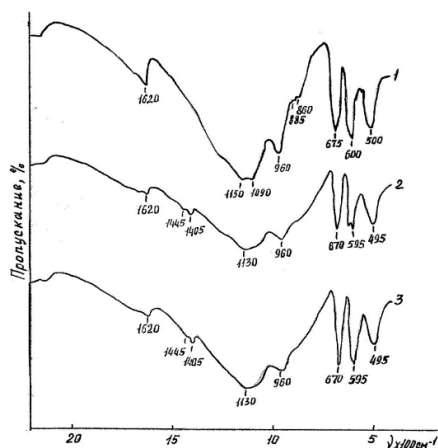


Рисунок 5. ИК-спектры дигидрофосфата кальция (спектр 1), дигидрофосфата аммония (спектр 2) и суперфосфата, полученного с добавкой (15% от массы кислоты серы) гидрофосфата аммония (спектр 3)

Figure 5. IR spectra of calcium dihydrophosphate (spectrum 1), ammonium dihydrophosphate (spectrum 2) and superphosphate obtained with the addition (15% by weight of sulfuric acid) of ammonium hydrophosphate (spectrum 3)

Обсуждение

Предложенный способ разложения апатита серной кислотой с интенсифицирующей добавкой гидрофосфатов аммония и калия отличается рядом преимуществ: снижение

расхода кислоты, обогащение готового суперфосфата калием и азотом, ускорение созревания, повышение выхода готового продукта в связи с максимизацией разложения исходной породы. По анализу литературных данных установлено, что сведения по добавлению вышеуказанной добавки в качестве интенсифицирующего и обогащающего компонента отсутствуют. Описаны способы: активации низкосортных фосфоритовых руд концентрированными растворами сульфата аммония [9]; получения суперфосфата, обогащенного бором и молибденом [10]; нейтрализации свободной кислотности суперфосфата аммиаком [11]. Проведены исследования получения фосфорных удобрений из отходов производств, в частности из золы осадка сточных фосфатных минералов и закрытию цикла Р [12]. Изучены возможности оптимизации производства обычного суперфосфата и его грануляции в зависимости от расхода серной кислоты [4] и разложения фосфоритов и апатитов, в том числе низкосортных фосфорной кислотой для получения суперфосфата [8, 13, 14]. Данный способ интенсификации получения суперфосфата не исследован в литературе. Способы оптимизации получения суперфосфата без добавок и с добавками интересны для поиска направления дальнейших исследований, включающих подбор источников фосфорных удобрений, анализ возможностей внедрения в состав конечного продукта других элементов, полезных для растений.

Анализ литературы показал отсутствие способов получения суперфосфата, аналогичных или близких к предложенному. Единственный пример, который отдаленно напоминает разработанный способ, заключается в получении фосфорно-калийного удобрения на основе сернокалийного раствора хлористого калия, что позволяет получить конечный продукт без содержания хлора [15–20].

Заключение

В результате проведенных исследований разработан метод получения суперфосфата из апатита. Посредством введения гидрофосфата аммония в качестве интенсифицирующей добавки позволило сократить объем используемой серной кислоты как основного компонента реакции, обеспечивающего разложение апатита. Достигнуто сокращение времени созревания конечного продукта и внедрение в суперфосфат источника азота и калия при использовании в качестве интенсифицирующей добавки смеси гидрофосфатов аммония и калия. По нашим данным, интервальном отрезке 12–18% от массы серной кислоты считается целесообразным при использовании 45%-го раствора $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$. При исследовании влияния интенсифицирующей добавки, состоящей из смеси гидрофосфатов

аммония и калия, установлено, что максимальная (98,02%) степень разложения достигается при внесении компонентов 19,7 и 19,31% от массы серной кислоты соответственно.

Современные исследования в сфере получения суперфосфатов многогранны, однако направление применения гидрофосфатов аммония и калия не исследовано в литературе, поэтому разработанный способ является уникальным. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию получения суперфосфата из различных, в том числе обедненных пород и

других фосфорсодержащих источников для организации безотходных технологий. Другое направление, которое следует учитывать, – применение других интенсифицирующих добавок, полезных для обогащения конечного удобрения дополнительными питательными элементами.

Благодарности

Выражаем благодарность сотрудникам Сумгаитского государственного университета и Азербайджанского университета нефти и промышленности за помощь в аналитических исследованиях.

Литература

- 1 Сахаров Ю.Н., Махоткин А.Ф., Махоткин И.А., Ситкин А.И. Механизм и кинетика разложения фосфатного сырья // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 11. С. 18–22.
- 2 Тлеуханова Г.Б., Касымова Ж.С. Изучение научно-производственных принципов химической технологии экстракционной фосфорной кислоты в лабораторных условиях // Матер. VIII Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» URL: <https://scienceforum.ru/2016/article/2016020073>
- 3 Sherkuziev D. Simple superphosphate by two-stage acid treatment of phosphate raw materials // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. V. 939. P. 012057.
- 4 Otaboev Kh., Sherkuziev D., Namazov Sh., Radjabov R., et al. Flow of simple superphosphate using two-stage decomposition of phosphorite // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. V. 939. P. 012055.
- 5 Mahammadjanovich S.M., Muhitdinovich T.S., Elbekovich S.B. Obtainment of suspended phosphorus-potassium containing nitrate // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. 2016. № 9-10. P. 95-100.
- 6 Самедов М.М.О., Гасанова Т.Ш.Г., Мамедова Г.М.Г. Исследование процесса разложения природных фосфатов серной кислотой с применением интенсифицирующих добавок – $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ // Elmi xəbərlər. Təbiət və texniki elmlər bölməsi. 2020. T. 20. № 3. С. 19–23.
- 7 Гумбатов М.О.О. Интенсификация процесса получения суперфосфата // Евразийский научный журнал. 2016. № 1. P. 1–4
- 8 Усманов Б.С., Эргашев А.А. Исследование процесса разложения низкосортных фосфоритов // Scientific progress. 2021. № 7. P. 712–716.
- 9 Atashev E. Production of azosuperphosphate in the participation of central Kyzylkum phospharites and ammonium sulphate // Journal of critical reviews. 2020. V. 7. № 7. P. 358–362.
- 10 Гумбатов М.О. Получение суперфосфата, обогащенного бор – молибденом // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3–1. С. 1–3.
- 11 Бадалова О.А., Отабоев Х.А., Намазов Ш.С., Сейтназаров А.Р. и др. Простой аммонизированный суперфосфат на основе забалансовой фосфоритной руды – минерализованной массы // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2018. № 9 (54). С. 1–5.
- 12 You Y., Klein J., Hartmann T.E., Nkebiwe P.M. et al. Producing Superphosphate with Sewage Sludge Ash: Assessment of Phosphorus Availability and Potential Toxic Element Contamination // Agronomy. 2021. V. 11. P. 1506.
- 13 Молдабеков Ш.М., Жантасов К.Т., Жанмолдаева Ж.К., Алтыбаев Ж.М. и др. Кинетика разложения низкокачественных фосфоритов фосфорной кислотой и получение двойного суперфосфата циклическим способом // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 11. С. 107–112.
- 14 Sabirov R., Makhotkin A., Sakharov Yu., Makhotkin I. et al. Mechanism of the process of decomposition of apatite with phosphoric acid // Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2019. V. 81. P. 294–297.
- 15 Гумбатов М.О.О. Разложение апатитового концентрата с применением сернокалийного раствора // Евразийский научный журнал. 2016. № 1. С. 1–4.
- 16 Najmiddinov R., Shamshidinov I., Qodirova G., Sayfiddinov O. Purification of phosphoric acid from impurities in the extraction process and research of obtaining high-quality nitrogen-phosphoric fertilizers // Models and methods in modern science. 2022. V. 1. №. 16. P. 86-99.
- 17 Rolewicz M., Rusek P., Mikos-Szymańska M., Cichy B. et al. Obtaining of suspension fertilizers from incinerated sewage sludge ashes (ISSA) by a method of solubilization of phosphorus compounds by *Bacillus megaterium* bacteria // Waste and Biomass Valorization. 2016. V. 7. №. 4. P. 871-877.
- 18 Ryszko U., Rusek P., Kołodyńska D. Quality of Phosphate Rocks from Various Deposits Used in Wet Phosphoric Acid and P-Fertilizer Production // Materials. 2023. V. 16. №. 2. P. 793.
- 19 Alzaky M.A.M., Li D. Sulfate of potash and yellow phosphorus to simultaneously remove SO_2 – NO and obtain a complete fertilizer // Atmospheric Pollution Research. 2021. V. 12. №. 2. P. 147-158. doi: 10.1016/j.apr.2020.10.017
- 20 Santos A.F., Almeida P.V., Alvarenga P., Gando-Ferreira L.M. et al. From wastewater to fertilizer products: Alternative paths to mitigate phosphorus demand in European countries // Chemosphere. 2021. V. 284. P. 131258. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.131258

References

- 1 Sakharov Yu.N., Makhotkin A.F., Makhotkin I.A., Sitkin A.I. Mechanism and kinetics of decomposition of phosphate raw materials. Bulletin of the Kazan Technological University. 2011. no. 11. pp. 18–22 (in Russian).
- 2 Tleukhanova G.B., Kasymova Zh. S. Study of scientific and production principles of chemical technology of extraction phosphoric acid in laboratory conditions. Mater. VIII International Student Scientific Conference "Student Scientific Forum". Available at: <https://scienceforum.ru/2016/article/2016020073> (in Russian).
- 3 Sherkuziev D. Simple superphosphate by two-stage acid treatment of phosphate raw materials. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. vol. 939. pp. 012057.
- 4 Otaboev Kh., Sherkuziev D., Namazov Sh., Radjabov R. et al. Flow of simple superphosphate using two-stage decomposition of phosphorite. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. vol. 939. pp. 012055.

- 5 Mahammadjanovich S.M., Muhitdinovich T.S., Elbekovich S.B. Obtainment of suspended phosphorus-potassium containing nitrate // *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences*. 2016. no. 9-10. pp. 95-100.
- 6 Samedov M.M.O., Gasanova T. Sh.g., Mamedova G.M.g. Study of the process of decomposition of natural phosphates by sulfuric acid using intensifying additives – (NH₄)₂HPO₄. *Elmi xəbərlər. Təbiət və texniki elmlər bölməsi*. 2020. vol. 20. no. 3. pp. 19-23.
- 7 Gumbatov M.O.o. Intensification of the process of obtaining superphosphate. *Eurasian scientific journal*. 2016. no. 1. pp. 1-4 (in Russian).
- 8 Usmanov B.S., Ergashev A.A., U. Investigation of the process of decomposition of low-grade phosphorites. *Scientific progress*. 2021. no. 7. pp. 712-716 (in Russian).
- 9 Atashev E. Production of azosuperphosphate in the participation of central Kyzylkum phospharites and ammonium sulphate. *Journal of critical reviews*. 2020. vol. 7. no. 7. pp. 358-362.
- 10 Gumbatov M.O. Obtaining superphosphate enriched with boron – molybdenum. *Actual problems of the humanities and natural sciences*. 2016. no. 3-1. pp. 1-3 (in Russian).
- 11 Badalova O.A., Otoboev Kh.A., Namazov Sh.S., Seitnazarov A.R. et al. Simple ammoniated superphosphate based on off-balance phosphorite ore – mineralized mass. *Universum: technical sciences: electron. scientific magazine* 2018. no. 9 (54). pp. 1-5 (in Russian).
- 12 You Y., Klein J., Hartmann T.E., Nkebiwe P.M. et al. Producing Superphosphate with Sewage Sludge Ash: Assessment of Phosphorus Availability and Potential Toxic Element Contamination. *Agronomy*. 2021. vol. 11. pp. 1506.
- 13 Moldabekov Sh.M., Zhantasov K.T., Zhanmoldaeva Zh. K., Altybaev Zh.M. et al. The kinetics of decomposition of low-quality phosphorites with phosphoric acid and the production of double superphosphate by the cyclic method. *technology*. 2013. no. 11. pp. 107-112 (in Russian).
- 14 Sabirov R., Makhotkin A., Sakharov Yu., Makhotkin I., Sakharov I. Mechanism of the process of decomposition of apatites with phosphoric acid. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2019. vol. 81. pp. 294-297.
- 15 Gumbatov M.O.o. Decomposition of apatite concentrate using sulfuric potassium solution. *Eurasian scientific journal*. 2016. no. 1. pp. 1-4 (in Russian).
- 16 Najmiddinov R., Shamshidinov I., Qodirova G., Sayfiddinov O. Purification of phosphoric acid from impurities in the extraction process and research of obtaining high-quality nitrogen-phosphoric fertilizers. *Models and methods in modern science*. 2022. vol. 1. no. 16. pp. 86-99.
- 17 Rolewicz M., Rusek P., Mikos-Szymańska M., Cichy B. et al. Obtaining of suspension fertilizers from incinerated sewage sludge ashes (ISSA) by a method of solubilization of phosphorus compounds by *Bacillus megaterium* bacteria. *Waste and Biomass Valorization*. 2016. vol. 7. no. 4. pp. 871-877.
- 18 Ryszko U., Rusek P., Kołodyńska D. Quality of Phosphate Rocks from Various Deposits Used in Wet Phosphoric Acid and P-Fertilizer Production. *Materials*. 2023. vol. 16. no. 2. pp. 793.
- 19 Alzaky M.A.M., Li D. Sulfate of potash and yellow phosphorus to simultaneously remove SO₂-NO and obtain a complete fertilizer. *Atmospheric Pollution Research*. 2021. vol. 12. no. 2. pp. 147-158. doi: 10.1016/j.apr.2020.10.017
- 20 Santos A.F., Almeida P.V., Alvarenga P., Gando-Ferreira L.M. et al. From wastewater to fertilizer products: Alternative paths to mitigate phosphorus demand in European countries. *Chemosphere*. 2021. vol. 284. pp. 131258. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.131258

Сведения об авторах

Мухтар М. О. Самедов д.т.н., профессор, кафедра нефтехимии, Сумгаитский государственный университет, 43-ий квартал, г. Сумгаит, AZ5008, Азербайджанская Республика, samedov-muxtar@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3960-5835>

Джеухун М. О. Мустафа-заде аспирант, кафедра нефтехимии, Сумгаитский государственный университет, 43-ий квартал, г. Сумгаит, AZ5008, Азербайджанская Республика, alexeytranslate@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-0134-3315>

Гюльнуре М. К. Мамедова д.т.н., доцент, Азербайджанский университет, пр-кт Азадлыг, 20, AZ5008, г. Баку, проспект Азербайджанская Республика, gulgure55@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5743-510X>

Садегюл Г. К. Джавадова Сумгаитский государственный университет, 43-ий квартал, г. Сумгаит, AZ5008, Азербайджанская Республика, kamal.cavadov.94@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8931-1432>

Вклад авторов

Мухтар М. О. Самедов Проведение большинства исследований, обработка полученных данных, составление таблиц и окончательная обработка рисунков
Джеухун М. О. Мустафа-заде обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент, выполнил расчёты
Гюльнуре М. К. Мамедова консультация в ходе исследования
Садегюл Г. К. Джавадова написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Mukhtar M. O. Samedov Dr. Sci. (Engin.), professor, petrochemistry department, Sumgait State University, 43rd Quarter, Sumgait, AZ5008, Republic of Azerbaijan, samedov-muxtar@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3960-5835>

Jeyhun M. O. Mustafa-zadeh graduate student, petrochemistry department, Sumgait State University, 43rd Quarter, Sumgait, AZ5008, Republic of Azerbaijan, alexeytranslate@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-0134-3315>

Gulgure M. K. Mammadova Dr. Sci. (Engin.), associate professor, Azerbaijan University of Petroleum and Industry, Azadlig Ave., 20, AZ5008, Baku, Azerbaijan Republic, gulgure55@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5743-510X>

Sadegyul G. K. Javadova Department of Petrochemistry, Sumgait State University, 43rd Quarter, Sumgait, AZ5008, Republic of Azerbaijan, kamal.cavadov.94@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8931-1432>

Contribution

Mukhtar M. O. Samedov Conducting most studies, processing the data obtained, compiling tables and final processing of figures
Jeyhun M. O. Mustafa-zadeh review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations
Gulgure M. K. Mammadova consultation during the study
Sadegyul G. K. Javadova wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 20/04/2023	После редакции 15/05/2023	Принята в печать 02/06/2023
Received 20/04/2023	Accepted in revised 15/05/2023	Accepted 02/06/2023

Исследование поверхностных свойств биокomпозиционных материалов, модифицированных обработкой в плазме коронного разряда

Илья Ю. Васильев¹ iljanaras@ya.ru  0000-0001-8488-5907
Владимир В. Ананьев¹ vovan261147@ya.ru  0000-0002-2049-7929

¹ Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия

Аннотация. Проведены исследования, направленные на определение особенностей печати на биокomпозиционных полимерных материалах. Установлено, что необработанные композиционные пленки характеризуются низкой адгезионной прочностью на границе композиционная пленка – краска, поверхностное натяжение не превышало 28 мН/м, краевой угол смачивания составил больше 80 градусов. При активации поверхности методом «коронного» разряда адгезионные свойства проявляются в большей степени, причем, с увеличением напряжения обработки «коронного» разряда, увеличивается и адгезионная прочность. Так, при обработке поверхности напряжением 25 кВ поверхностное натяжение для исследуемых композитов оценивали выше 40 мН/м, а краевой угол смачивания меньше 45 градусов. Для БГК на основе ПЭНП и ТПК различной основы (кукурузный, гороховый, рисовый) адгезионная прочность оценивали в интервале от 2,9 до 3,5 Н/см², для ПКМ на основе ПЭНП и ОРД - 29 Н/см². Результатом такой работы является увеличение поверхностного натяжения, вследствие появления полярных групп на поверхности композиционных пленок, в частности, кислородсодержащих С-О и С=О, что подтверждается Фурье-ИК-спектроскопией. Несмотря на то, что при активации поверхности композиционных пленок адгезионная прочность на границе пленка-краска увеличивается, замечено, что для БГК на основе ПЭНП и термопластичного крахмала адгезионные свойства непостоянные и со временем снижаются. Спустя две недели адгезионную прочность оценивали, в среднем, 1,4 Н/см². Скорее всего, БГК при активации поверхности «коронным» разрядом не переходят в электретное состояние, а также действуют внешние факторы, такие как температура и влажность, в результате уменьшается количество полярных групп на поверхности. Для ПКМ на основе ПЭНП и ОРД наоборот, наблюдали незначительное снижение адгезионной прочности с 29 до 27 Н/см², что обуславливается химической природой исходных компонентов.

Ключевые слова: биоразлагаемые полимеры, композиционные пленки, печать, полиэтилен, крахмал, оксо-разлагающаяся добавка, адгезия, поверхностное натяжение, смачивание, «коронный» разряд.

Investigation of surface properties of biocomposite materials modified by corona plasma treatment

Ilya Yu. Vasilyev¹ iljanaras@ya.ru  0000-0001-8488-5907
Vladimir V. Ananyev¹ vovan261147@ya.ru  0000-0002-2049-7929

¹ Moscow Polytechnic University, st. Bolshaya Semenovskaya., 38 Moscow, 107023, Russia

Abstract. Studies aimed at determining the features of printing on biocomposite polymer materials were carried out. It has been found that the untreated composite films have a low adhesion strength at the composite film-paint interface, the surface tension did not exceed 28 mN/m, and the contact wetting angle was greater than 80 degrees. When the surface is activated by the "corona" discharge method, the adhesion properties appear to a greater extent, and with an increase in the processing stress of the "corona" discharge, the adhesion strength also increases. Thus, in a 25 kV surface treatment, the surface tension for the test composites was estimated to be above 40 mN/m and the contact wetting angle was less than 45 degrees. For BHA based on LDPE and TPC of various bases (corn, pea, rice), adhesion strength was evaluated in the range from 2.9 to 3.5 N/cm², for PCM based on LDPE and ORD - 29 N/cm². The result of this work is an increase in surface tension due to the appearance of polar groups on the surface of composite films, in particular oxygen-containing C-O and C = O, as confirmed by Fourier IR spectroscopy. Although the adhesion strength at the film-paint interface is increased when the surface of the composite films is activated, it has been observed that for LDPE-based BHC and thermoplastic starch, the adhesion properties are not constant and decrease over time. After two weeks, adhesion strength was evaluated, on average, 1.4 N/cm². Most likely, BHCs do not transition to the electret state when the surface is activated by "corona" discharge, and external factors such as temperature and humidity act, as a result of which the number of polar groups on the surface decreases. On the contrary, a slight decrease in adhesion strength from 29 to 27 N/cm² was observed for PCM based on LDPE and OPD, which is due to the chemical nature of the starting components.

Keywords: biodegradable polymers, composite films, printing, polyethylene, starch, oxo-decomposable additive, adhesion, surface tension, wetting, corona discharge.

Для цитирования

Васильев И.Ю., Ананьев В.В. Исследование поверхностных свойств биокomпозиционных материалов, модифицированных обработкой в плазме коронного разряда // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 2. С. 205–215. doi:10.20914/2310-1202-2023-2-205-215

For citation

Vasilyev I.Yu., Ananyev V.V. Investigation of surface properties of biocomposite materials modified by corona plasma treatment. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 2. pp. 205–215. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-2-205-215

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

Введение

К актуальным проблемам химии высокомолекулярных соединений относится и задача создания биоразлагаемых полимерных композиций [1] на основе синтетических полимеров, включая полиолефины [2]. Последние, благодаря своим высоким эксплуатационным свойствам [3], составляют половину от всех производимых полимеров и их производство в России, как и в мире с каждым годом растет [4]. Они весьма устойчивы к внешним воздействиям, поэтому изделия на их основе после эксплуатации сохраняются без изменения длительное время и, накапливаясь, наносят вред окружающей среде [5]. Поэтому одним из перспективных решений утилизации и переработки синтетических полимеров и изделий из них является придание им свойства биоразлагаемости [6], например, путем наполнения соединениями природного или синтетического происхождения [7].

Придание синтетическим полимерам свойства биоразлагаемости, которые разрушаются под действием факторов окружающей среды: микроорганизмов, природно-климатических факторов, света, кислорода воздуха, влаги, агрессивных сред и других, позволяет значительно сократить количество полимерного мусора и улучшить экологическую обстановку [8,9].

Наибольший интерес среди множества полимеров природного происхождения, позиционируемых в качестве модификатора для биоразложения, вызывает крахмал [10], который накапливается во многих видах растений, в том числе в клубнях, семенах, стеблях и листьях. Крахмалы различаются по происхождению. Для их производства используют картофель, рис, пшеницу или кукурузу [11]. Крахмал практически полностью биоразлагаем, и возобновляется в природных условиях. Поэтому его используют в качестве основного сырья при изготовлении биоразлагаемых материалов [12].

Еще одним, набирающим популярность направлением создания полимеров, способных к разложению является технология введения в структуру полимеров молекул, содержащих в своем составе функциональные группы [13,14], способствующие ускоренному фото- [15] или окси-разложению полимера [16]. Данный метод представляется наиболее простым и относительно дешевым методом решения части экологических проблем. Особенно важно, чтобы добавки, вводимые в полимер, были безопасны при использовании получаемых из композиции изделий [17].

В технологических процессах изготовления упаковочной продукции полимерная пленка контактирует с различными жидкостями, в частности,

с полиграфическими красками. Для создания изображения на полимерных упаковочных материалах используют глубокий или флексографский способ печати. Глубокий способ печати экономически не выгоден тем, что используется для печати больших тиражей ввиду высокой стоимости технологического оборудования, больших затрат на печатные формы и расходные материалы [18]. Наиболее приемлемым и чаще всего используемым для запечатывания гибкой полимерной упаковки является флексография. Стоит отметить, что гибкая полимерная упаковка является гидрофобным (невпитывающим) материалом и для запечатывания используются краски, пленкообразование которых осуществляется за счет физического или фотохимического процесса [19]. Во флексографском способе печати для запечатывания гибкой полимерной упаковки используют краски: водно-дисперсионные, на органических растворителях (сольвентные) и УФ-полимеризации (УФ-краски). Основные свойства, которые необходимо контролировать при нанесении краски на поверхность гибкой полимерной упаковки: скорость и механизм пленкообразования, а также качество красочного слоя (стойкость к истиранию и царапанию, светостойкость, химическая стойкость, адгезионная прочность) [20].

Для штатного протекания процесса печати необходимо, чтобы поверхность полимерного материала была гидрофильной. Большинство пленок, предназначенных для гибкой упаковки, являются химически инертными, непористыми и имеют низкое поверхностное натяжение и, как следствие, характеризуются низким адгезионным взаимодействием с печатными красками и другими наносимыми на поверхность полимерной пленки жидкостями [21].

Одним из перспективных и распространенных методов повышения поверхностного натяжения пленочных материалов и увеличения адгезии является метод обработки в плазме «коронного» разряда [22].

Данный метод является наиболее распространенным на предприятиях, позиционируемых на печати упаковочной продукции, ввиду энергоемкости технологического процесса, простоты и производительности. При этом важно оценивать такие характеристики, как адгезионная прочность печатной краски на поверхности полимерного материала, а также качество запечатанной поверхности [23].

Цель работы – проанализировать особенности печати на биокомпозиционных полимерных пленках, модифицированных наполнителями различной химической природы: термопластичных

крахмалов (кукурузный, гороховый, рисовый), а также оксо-разлагающейся добавки (ОРД), представляющей собой амфифильный полимерный металлокомплекс (прооксиданты в виде карбоксилата железа) и определить влияние обработки в плазме «коронного» разряда на адгезионную прочность на границе композиционная пленка-краска.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования использовали:

- биологически разрушаемые гибридные композиции (БГК) на основе ПЭНП и термопластичного крахмала (ТПК) различного происхождения (кукурузный, гороховый, рисовый);
- полимерные композиционные материалы (ПКМ) на основе полиэтилена и оксо-разлагающейся добавки (ОРД), представляющей собой амфифильный полимерный металлокомплекс (АПМ) (прооксиданты в виде карбоксилата железа).
- краска флексографская водно-дисперсионная Red, марки Pantone, фирмы «ПолиФлекс». Состав краски: спирты, сложные эфиры, связующее, пигмент и добавки.
- краска флексографская на органических растворителях Yellow, марки Pantone, фирмы «ПолиФлекс». Состав краски: спирты, вода, связующее, пигмент и добавки.

Биологически разрушаемые гибридные композиции (БГК) на основе ПЭНП и термопластичного крахмала различного происхождения (кукурузный, гороховый, рисовый), а также ПКМ на основе ПЭНП и ОРД получали на лабораторном двухшнековом и плоскощелевом экструдере производства "МашПласт" (Россия) при температурах 100 °С (в зоне загрузки) до 140 °С (в зоне головки).

Нанесение печатных красок на композиционные пленки осуществляли на флексографском пробопечатном устройстве Flexiproof 100 UV фирмы – Service (Россия). Скорость печати достигала 50 м/мин.

Для определения поверхностного натяжения композиционных пленок использовали тестовые маркеры фирмы «Arcotest» (Германия). Тестовые маркеры содержат жидкость с определенным поверхностным натяжением. Диапазон значений поверхностного натяжения – от 26 до 52 мН/м. Использовали образец размерами 50 x 50 мм. Поочередно наносили с помощью кисти на поверхность композиционной пленки жидкость и наблюдали процесс смачивания поверхности. Если в течение 30 с жидкость не собирается в сферическую каплю,

то происходит смачивание поверхности, наоборот – не смачивание.

Краевой угол смачивания определяли с помощью лабораторной установки, оснащенной компьютерным интерфейсом с программным обеспечением «Image» (Россия), при температуре 20 °С и относительной влажности воздуха от 50 до 80 %. Для этого вырезали образец композиционной пленки размерами 30 x 10 мм и располагали ее на предметном столике лабораторной установки по определению краевого угла смачивания, оснащенной гониометрической приставкой и цифровой камерой. Используя шприц, наносили каплю воды. Определяли равновесный – не изменяющийся во времени краевой угол смачивания. Абсолютная ошибка при определении краевого угла смачивания стандартна и составляет не более 0,5 градуса.

Обработку поверхности композиционных пленок для повышения их адгезионного взаимодействия проводили с помощью установки «коронного» разряда при зазоре между электродами – 2 мм, частоте тока – 20 кГц и напряжении в интервале от 10 до 25 кВ. Образец проходил между электродами дважды. Для этого вырезали образцы композитов размерами 60 x 220 мм. Поочередно закрепляли образцы на гуммированном цилиндре «коронной» установки, предварительно очистив его от поверхностных загрязнений. Экспериментальная установка для обработки композиционных пленок «коронным» разрядом состоит из двух основных элементов: блока питания и узла обработки. Принципиальная схема для обработки пленки «коронным» разрядом представлена на рисунке 1.

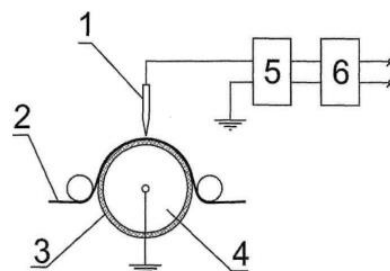


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки для обработки композиционных пленок «коронным» разрядом: 1 – коронирующий электрод, 2 – композиционная пленка, 3 – диэлектрическое покрытие заземленного электрода, 4 – заземленный электрод, 5 – трансформатор, 6 – генератор

Figure 1. Scheme of experimental installation for processing composite films with «corona» discharge: 1 – corona electrode, 2 – composite film, 3 – dielectric coating of the grounded electrode, 4 – grounded electrode, 5 – transformer, 6 – generator

Адгезионную прочность на границе композиционная пленка – печатная краска оценивали методом нормального отрыва с использованием специальной ячейки согласно ГОСТ 32299–2013. Сущность метода состоит в приклеивании цилиндрического грибка (площадь поверхности 1 см^2) к окрашенной поверхности образца с помощью прочного и быстро отверждающегося полимерного цианакрилатного клея. Усилие нормального отрыва краски от поверхности пленки регистрируется динамометром, соединенным с грибком через гибкую сцепку.

Адгезию красочного покрытия к композиционной пленке определяли методом решетчатых надрезов согласно ГОСТ 31149–2014 при температуре $20 \pm 2^\circ \text{C}$ и относительной влажности 50–80 %; и методом липкой ленты согласно ГОСТ 15140–78 при температуре $20 \pm 2^\circ \text{C}$ и относительной влажности 50–80 %.

Изучение химической структуры БГК осуществляли методом Фурье–ИК–спектроскопии с приставкой МНПВО на приборе ФСМ -1201 (Germany) с разрешением в $1,0 \text{ см}^{-1}$ (спектральный диапазон волновых чисел $375\text{--}7900 \text{ см}^{-1}$).

Морфологию поверхности краски, запечатанной на различных композиционных пленках, исследовали с помощью поляризационного микроскопа «Полам-Р312» в проходящем и отраженном свете при увеличении $\times 50$ и $\times 200$.

Результаты

Биологически разрушаемые гибридные композиции на основе ПЭНП и термопластичного крахмала различного происхождения (кукурузный, гороховый и рисовый), получали на двухшнековом и одношнековом экструдере при температурах 100°C (в зоне загрузки) до 140°C (в зоне головки) [24,25], где долю ТПК в БГК варьировали при соотношении от 40:60 мас. % [26].

Для изготовления биокomпозиционных полимерных пленок на основе ПЭНП и оксо-разлагающейся добавки (ОРД) использовали плоскощелевой метод экструзии, при котором гранулы ПЭНП смешивали с гранулами оксо-разлагающейся добавки при разных концентрационных соотношениях, где доля ОРД в композиционных пленках составляла от 1–3 мас. %. Температурные режимы экструзии от 100°C (в зоне загрузки) до 125°C (в зоне головки).

Позиционируя композиционные полимерные пленки в качестве упаковки для пищевых продуктов, поверхность пленок запечатывается, либо на них наносится этикетка [27].

Первоначально определили краевой угол смачивания при нормальных условиях (рисунок 2). Параллельно определяли поверхностное натяжение (δ) с помощью тестовых чернил. Испытание проводили при тех же условиях, что и для определения краевого угла смачивания (таблица 1).

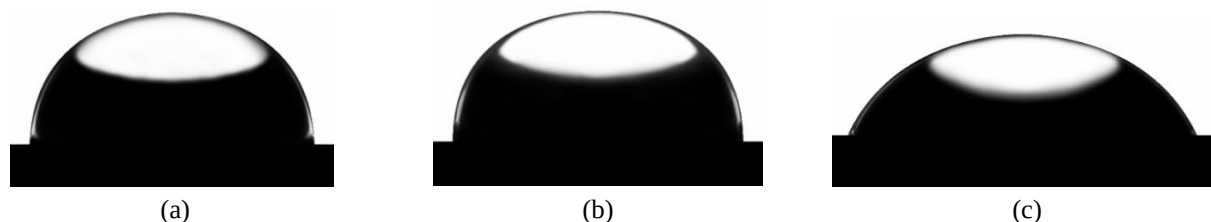


Рисунок 2. Профиль капель: (а) – БГК на основе ПЭНП и кукурузного ТПК – 60 мас. %, (б) – БГК на основе ПЭНП и рисового ТПК – 60 мас. %, (с) – ПКМ на основе ПЭНП и ОРД – 3 мас. %

Figure 2. View of droplet profiles: (a) – BHC based on LDPE and corn TPS – 60 wt %, (b) – BHC based on LDPE and rice TPS – 60 wt %, (c) – PCM based on LDPE and ORD – 3 wt %

Таблица 1.

Определение поверхностных свойств композиционных пленок

Table 1.

Determination of surface properties of composite films

Состав композиции, масс % Composition, wt %	Поверхностное натяжение δ , мН/м Surface tension of the δ , mn/m	Краевой угол смачивания, градусы Contact angle of wetting, degrees
БГК на основе ПЭНП:ТПК кукурузный = 40 :60 BHC based on LDPE: corn TPS = 40 :60	28	83
БГК на основе ПЭНП:ТПК гороховый = 40 :60 BHC based on LDPE: pea TPS = 40 :60	26	86
БГК на основе ПЭНП:ТПК рисовый = 40 :60 BHC based on LDPE: rice TPS = 40 :60	28	81
ПКМ на основе ПЭНП: ОРД = 97 :3 LDPE based PCM: ORD = 97 :3	30	80

Анализируя данные, представленные в таблице, для всех композиционных пленок краевой угол смачивания выше 80 градусов, что характеризует ограниченное смачивание.

В свою очередь, поверхностное натяжение для всех композитов меньше 38 мН/м, что является недостаточным для осуществления печати и свидетельствует о низкой степени адгезии.

С целью повышения активации поверхности композиционных пленок провели поверхностную модификацию методом обработки в плазме «коронного» разряда. После чего вновь измерили

поверхностное натяжение и определили краевой угол смачивания. Поверхностные свойства после обработки представлены на рисунках 3 и 4.

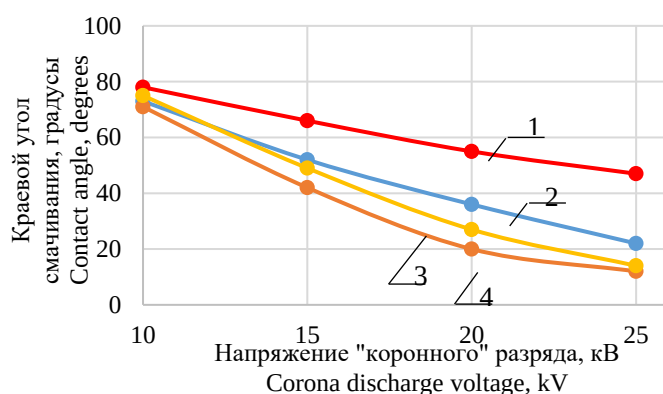
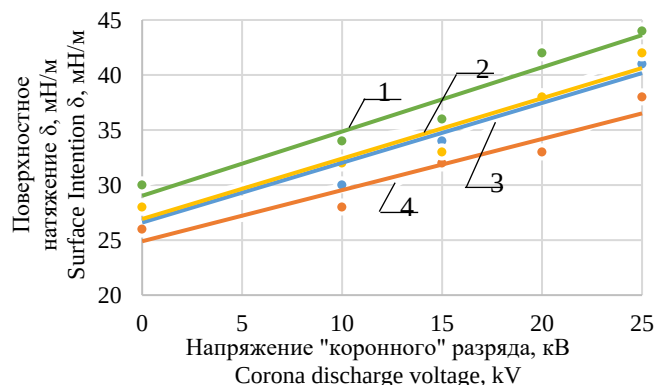


Рисунок 3. Поверхностное натяжения после обработки «коронным» разрядом 1 – ПКМ на основе ПЭНП и ОРД – 3 мас. %; содержание ТПК – 60 мас. %; 2 – БГК на основе ПЭНП и рисового ТПК, 3 – БГК на основе ПЭНП и кукурузного ТПК, 4 – БГК на основе ПЭНП и горохового ТПК
Figure 3. Surface tension after corona treatment 1 – PCM based on LDPE and ODA – 3 wt %; TPS content – 60 wt %; 2 – LDPE-based BHC and rice TPS, 3 – LDPE-based BHC and corn TPS, 4 – LDPE-based BHC and pea TPS

Рисунок 4. Гидрофильность поверхности пленок после обработки «коронным» разрядом. Содержание ТПК – 60 мас. %: 1 – БГК на основе ПЭНП и горохового ТПК, 2 – БГК на основе ПЭНП и кукурузного ТПК, 3 – БГК на основе ПЭНП и рисового ТПК, 4 – ПКМ на основе ПЭНП и ОРД – 3 мас. %
Figure 4. Hydrophilicity of film surface after corona treatment. TPS content – 60 wt %: 1 – LDPE and pea TPS based BHC, 2 – LDPE and corn TPS based BHC, 3 – LDPE and rice TPS based BHC, 4 – LDPE based PMC and ODA – 3 wt %

После поверхностной модификации краевой угол смачивания для всех исследуемых композиций снижается. Обработка «коронным разрядом» приводит к увеличению гидрофильности, определяемой по величине краевого угла смачивания водой. Так, к примеру, краевой угол смачивания для необработанного ПКМ на основе ПЭНП и ОРД равен 80 градусов, для обработанной пленки при напряжении 25 кВ этот показатель равен 14 градусов. В процессе обработки в плазме «коронного разряда» рельеф поверхности композиционных пленок изменяется, это обычно достигается за счет окисления поверхности, вследствие ее гидрофилизации, образуются полярные группы на поверхности пленки, улучшается смачивание поверхности и повышение адгезионного взаимодействия.

В свою очередь, значения поверхностного натяжения композиционных пленок увеличиваются, что соответствует требованиям к запечатыванию: достижение необходимой адгезии позволяет наносить на пленочные материалы печатную краску.

Для дополнительной оценки изменений, произошедших в процессе обработки «коронным» разрядом композиционных пленок, определили спектральные характеристики, используя метод Фурье-ИК-спектроскопии.

Исследования методом ИК-спектроскопии МНПВО показали, что при обработке «коронным» разрядом в спектре появляется пик поглощения в области 1240 см^{-1} и $1720\text{--}1760\text{ см}^{-1}$, характерных для колебаний кислородсодержащих групп (C-O , C=O) для всех исследуемых композитов. Модификация поверхностного слоя, сопровождающаяся разрывом полимерной цепи с последующим её окислением (C=O), и приводит к появлению в спектре поглощения интенсивных полос колебаний этих связей.

Результатом такой модификации является, с одной стороны, значительное «усиление» спектра поглощения, с другой стороны, наличие кислородсодержащих групп типа C=O , OH в поверхностном слое увеличит вероятность других видов взаимодействия: химического, водородных связей. И тот и другой процессы дают вклад в увеличение адгезии. Это свидетельствует о справедливости предположений, что кислородсодержащие функциональные группы образуются в процессе «коронирования» при обработке в воздушной атмосфере.

Изготовили красочные оттиски с помощью флексографской установки FlexiProof 100 UV фирмы – «Service». Использовали водно-дисперсионную и сольвентную краску. На рисунках 5 и 6 представлена морфология поверхности красочного слоя на исследуемых композиционных пленках.

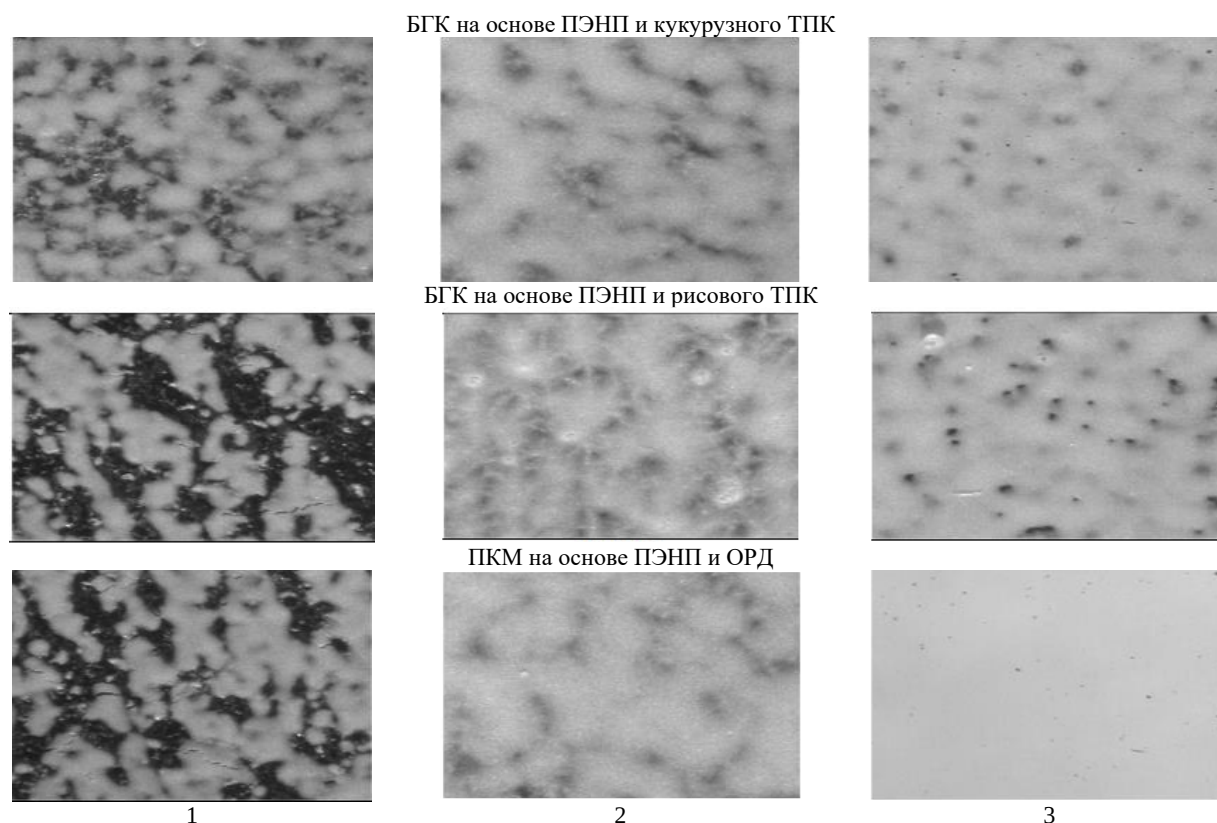


Рисунок 5. Морфология поверхности слоя водно-дисперсионной краски ПолиФлекс, нанесенной на композиционные пленки, увеличение $\times 200$ 1 – не обработанные, 2 – обработанные «коронным» разрядом при напряжении 20 кВ, 3 – при напряжении 25 кВ

Figure 5. Surface morphology of PolyFlex water dispersion paint applied to composite films, increase in $\times 200$ 1 – not processed, 2 – treated with "corona" discharge at voltage of 20 kV, 3 – at voltage of 25 kV

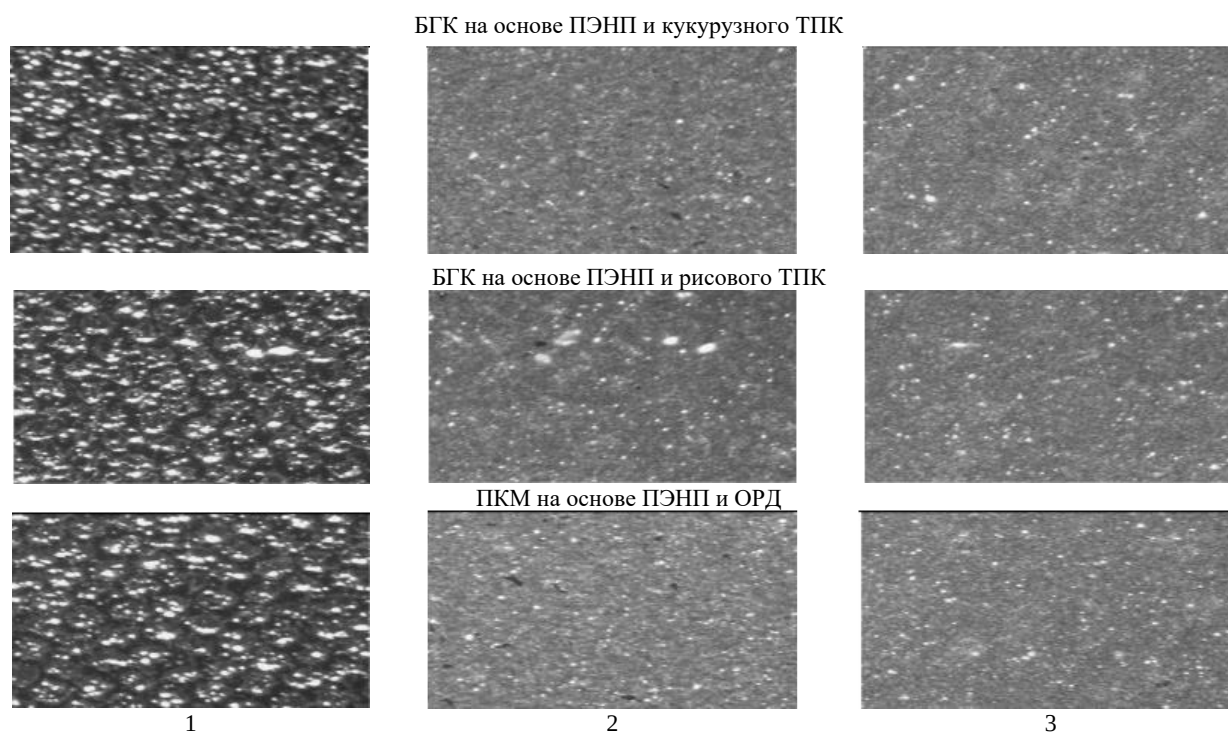


Рисунок 6. Морфология поверхности слоя сольвентной краски ПолиФлекс, нанесенной на композиционные пленки, увеличение $\times 200$ 1 – не обработанные, 2 – обработанные «коронным» разрядом при напряжении 20 кВ, 3 – при напряжении 25 кВ

Figure 6. Surface morphology of PolyFlex solvent paint layer applied to composite films, increase in $\times 200$ 1 – not processed, 2 – treated with "corona" discharge at voltage of 20 kV, 3 – at voltage of 25 kV

Анализируя результаты, представленные на рисунках 5 и 6 на поверхности необработанных композиционных пленок распределение краски осуществляется неравномерно, с повышением активации поверхности до 20 кВ краска на основе водной дисперсии распределяется на поверхности композиционных пленок более равномерно. Причем для композиционной пленки, в состав которой входит ОРД при напряжении, равном 25 кВ, достигается полное смачивание по сравнению с композиционными пленками, в составе которых присутствует термопластичный крахмал.

При использовании красок, содержащих органические растворители, при увеличении активации поверхности до 25кВ, наблюдали равномерное распределение краски на поверхности композиционных пленок.

Определили, как заряд распределяется на пленке после активации поверхности. Для этого получили фотографии распределения заряда на поверхности активированной пленки, используя электронейтральный порошок для лазерных принтеров. Причем испытания проводили в день обработки и через трое суток (рисунок 7).

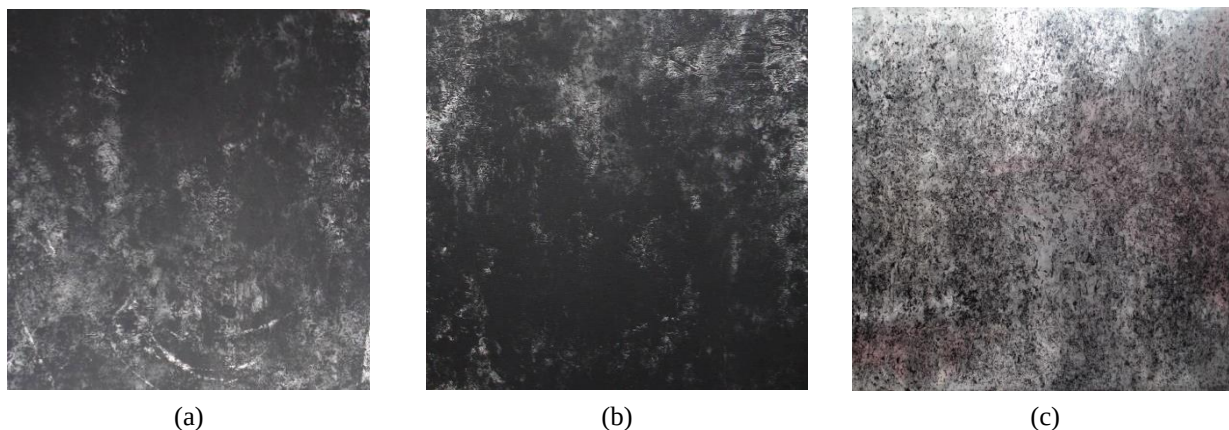


Рисунок 7. Распределение тонирующего порошка на поверхности БГК пленки на основе ПЭНП и рисового ТПК – 60 мас. % (а) – необработанная поверхность, (б) – обработанная поверхность, (с) – обработанная поверхность после 3 суток, увеличение $\times 50$

Figure 7. Distribution of toning powder on BHC film surface based on LDPE and rice TPS – 60 wt % (a) – untreated surface, (b) – treated surface, (c) – treated surface after 3 days, enlargement $\times 50$

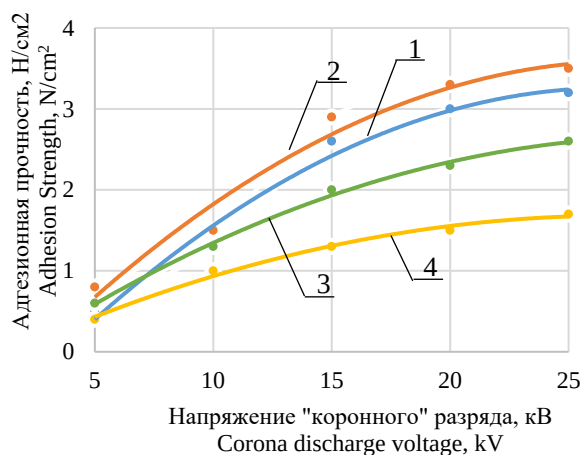


Рисунок 8. Адгезионная прочность на границе композиционная пленка (БГК при использовании рисового ТПК) – краска от величины «коронирующего» напряжения для краски на органических растворителях. Активация поверхности: 1 – 3 часа, 2 – 24 часа, 3 – 3 суток, 4 – 14 дней

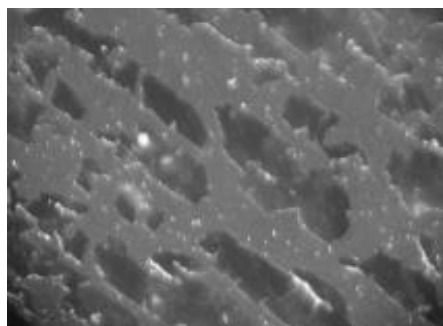
Figure 8. Adhesive strength at the boundary composite film (BHC when using rice TPS) – paint from the value of "corona" stress for paint on organic solvents. Surface activation: 1 – 3 hours, 2 – 24 hours, 3 – 3 days, 4 – 14 days

Из представленных фотографий видно, что необработанная композиционная пленка, в отличие от обработанных пленок коронным разрядом имеет небольшой заряд, который распределяется на поверхности неравномерно. По истечении трех суток количество удерживаемого на поверхности композиционной пленки порошка уменьшается. Это может быть связано с тем, что БГК, в состав которой вводили ТПК во время обработки «коронным» разрядом, не переходит в электретное состояние.

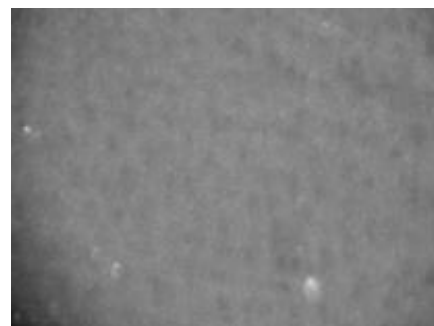
Анализируя результаты, представленные на рисунке 8, адгезионная прочность на границе композиционная пленка – печатная краска увеличивается по мере увеличения напряжения «коронного» разряда как в случае применения сольвентной краски, так и для водно-дисперсионной краски. По истечении трех часов после нанесения краски адгезионная прочность равна $3,2 \text{ Н/см}^2$, спустя сутки увеличивается до $3,5 \text{ Н/см}^2$, по прошествии трех дней снижается и спустя две недели характеризуется $1,7 \text{ Н/см}^2$. Это связано с тем, что действуют внешние факторы, такие, как температура и влажность, в результате

уменьшается количество полярных групп на поверхности. Можно сделать заключение, что сила адгезии сравнима (или выше) силы когезионного взаимодействия в красочном покрытии. Для БГК на основе ПЭНП и кукурузного ТПК спустя две недели адгезионная прочность не превышала $1,4 \text{ Н/см}^2$, для БГК на основе ПЭНП и горохового ТПК характеризовалась на уровне $1,1 \text{ Н/см}^2$.

Для ПКМ на основе ПЭНП и ОРД также как и для БГК адгезионная прочность увеличивается с увеличением напряжения «коронного» разряда и спустя сутки характеризовалась 29 Н/см^2 .



(a)



(b)

Рисунок 9. Адгезионная прочность методом липкой ленты на ПКМ на основе ПЭНП и ОРД с нанесенным красочным слоем, не обработанной – (а) и обработанной «коронным» разрядом напряжением 25 кВ – (б) увеличение $\times 50$

Figure 9. Adhesive strength by adhesive tape on PCM based on LDPE and ADR with applied paint layer, not treated – (a) and treated with "corona" discharge with voltage of 25 kV – (b) increase $\times 50$

Анализируя данные по определению адгезионной прочности красочного покрытия, полученных с помощью краски на основе водной дисперсии и на основе органических растворителей двумя методами для БГК пленок на основе ПЭНП и термопластичного крахмала различного происхождения, во всех случаях, проявляют низкое адгезионное взаимодействие, что согласуется с выдвинутым предположением о том, что БГК пленки не переходят в электретное состояние.

Для ПКМ на основе ПЭНП и ОРД, адгезионная прочность на необработанной поверхности практически отсутствует (рисунок 9а). Краска отслаивается от поверхности композиционной пленки и переходит на липкую ленту. При обработке «коронным» разрядом напряжением 25 кВ возникает адгезионное взаимодействие на границе раздела композиционная пленка-краска и при отслаивании липкой ленты краска остается на поверхности пленки (рисунок 9б).

Таким образом, в результате экспериментального исследования определили, что напряжение обработки «коронным» разрядом влияет как на адгезионную прочность, так и на равномерность нанесения красочного слоя флексографским способом на поверхность композиционных пленок. Причем наиболее эффективен этот метод для ПКМ на основе ПЭНП и ОРД, а также красок, содержащих органические растворители.

Замечено, что спустя две недели адгезионная прочность изменяется незначительно и сохраняется на уровне 27 Н/см^2 . Это связано с тем, что используемый в качестве модификатора – наполнитель характеризуется свойствами, близкими по свойствам для полиолефинов, образуется более гомогенная структура, что не оказывает негативного влияния на печатные свойства композиционных пленок.

Определили адгезионное взаимодействие методом липкой ленты (скотч-тест) и решетчатых надрезов. Испытания проводили спустя трое суток и через две недели после изготовления.

Заключение

Проанализировали особенности печати на биокомпозиционных полимерных пленках. Определили, что при активации поверхности композиционных пленок «коронным» разрядом поверхностное натяжение увеличивается, краевой угол смачивания снижается, выполняется условие, при котором возможно осуществить печать.

Установили, что активация поверхности «коронным» разрядом приводит к образованию кислородсодержащих групп (C-O , C=O), что подтверждает Фурье-ИК-спектроскопия (появление пика поглощения в области 1240 см^{-1} и $1720\text{--}1760 \text{ см}^{-1}$) вследствие чего увеличивается адгезионное взаимодействие на границе композиционная пленка-краска.

Установили взаимосвязь между напряжением «коронного» разряда и адгезионной прочностью: при увеличении напряжения обработки поверхности композиционных пленок увеличивается и адгезионная прочность. Данная закономерность позволяет установить критерии для нанесения красок на поверхность композиционных пленок. Однако, для композитов на основе ПЭНП и термопластичного крахмала адгезионная прочность на границе композиционная пленка-краска непостоянная и со временем снижается.

Скорее всего, это связано с тем, что БГК пленки не переходят в электретное состояние, а также воздействуют факторы окружающей среды: температура, влажность, в результате чего уменьшается количество полярных групп на поверхности композиционных пленок.

Для ПКМ на основе ПЭНП и ОРД при увеличении напряжения «коронного» разряда увеличивается адгезионная прочность и со временем снижается незначительно, что обуславливается химической природой исходных компонентов.

Благодарности

Настоящее исследование проведено при финансовой поддержке Московского политехнического университета в рамках гранта имени В.Е. Фортова.

Acknowledgments

This work was financially supported by the Moscow Polytechnic University within the framework of the grant named after Vladimir Fortov.

Литература

- 1 Васильева Н.Г. Биоразлагаемые полимеры // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. №. 22. С. 156-157.
- 2 Razavi S.M.A., Cui S.W, Ding H. Structural and physicochemical characteristics of a novel water-soluble gum from *Lallemantia royleana* seed // International Journal of Biological Macromolecules. 2016. V. 83. P. 142–151. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2015.11.076
- 3 Kwon S.S. Kong B.J., Park S.N. Physicochemical properties of pH-sensitive hydrogels based on hydroxyethyl cellulose-hyaluronic acid and for applications as transdermal delivery systems for skin lesions // European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics. 2015. V. 92. P. 146–154. doi: 10.1016/j.ejpb.2015.02.025
- 4 Salarbashi D., Tajik S., Shojaei-Aliabadi S. et al. Development of new active packaging film made from a soluble soybean polysaccharide incorporated *Zataria multiflora* Boiss and *Mentha pulegium* essential oils // Food Chemistry. 2014. V. 146. P. 614–622. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.09.014
- 5 Tajik S., Maghsoudlou Y., Khodaiyan F. et al. Soluble soybean polysaccharide: A new carbohydrate to make a biodegradable film for sustainable green packaging // Carbohydrate Polymers. 2013. V. 97. № 2. P. 817–824. doi: 10.1016/j.carbpol.2013.05.037
- 6 Asyakina L.K., Dolganyuka V.F., Belova D.D. et al. The study of rheological behavior and safety metrics of natural biopolymers // Foods and Raw Materials. 2015. V. 4. № 1. P. 70–78. doi: 10.21179/2308-4057-2016-1-70-78
- 7 Torres F.G., Troncoso O.P., Torres C. et al. Biodegradability and mechanical properties of starch films from Andean crops // International Journal of Biological Macromolecules. 2011. V. 48. № 4. P. 603–606. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2011.01.026
- 8 Колпакова В.В., Усачёв И.С., Сарджвеладзе А.С., Лукин Н.Д. и др. Термопластичный крахмал в составе биоразлагаемой полимерной пленки // Кондитерское и хлебопекарное производство. 2018. №. 1-2. С. 21-25.
- 9 Lukin D., Kolpakova V., Ananyev V. et al. Application of thermoplastic starch and starch containing waste of food industry in biodegradable polymer compositions // Proceedings of the 12th international conference on polysaccharides-glycoscience. Prague. 2016. P. 58–62.
- 10 Kolpakova V.V., Usachev I.S., Sarjveladze A.S. Solomin D.A., Ananyev V.V., Vasiliev I.Yu. Improving the technology of using thermoplastic starch for a biodegradable polymer film // Food industry. 2017. V. 8. P. 34–38.
- 11 Avérous L., Pollet E. Biodegradable polymers // Environmental Silicate Nano-Biocomposites. London: Springer, 2012. P. 13–39. doi: 10.1007/978-1-4471-4108-2_2
- 12 Wilhelm H.M., Sierakowski M.R., Souza G.P. et al. Starch films reinforced with mineral clay // Carbohydrate Polymers. 2003. V. 52. №. 2. P. 101–110. doi: 10.1016/S0144-8617(02)00239-4
- 13 Tabasum Shazia, Younas Muhammad, Zaeem Muhammad Ansab, Majeed Irfan et al. A review on blending of corn starch with natural and synthetic polymers, and inorganic nanoparticles with mathematical modeling // International Journal of Biological Macromolecules. 2019. V. 122. №. 1. P. 969–996. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.10.092
- 14 Ren H., Ouyang G., Iyer S.S., Yang Y.-T. Mechanism and process window study for die-to-wafer (d₂w) hybrid bonding // ECS Journal of Solid State Science and Technology. 2021. V. 10. №. 6. P. 064008. doi: 10.1149/2162-8777/ac0a52
- 15 Токарева Н.Е. Оценка скорости разложения полиэтилена с добавкой D2W // Инновационные факторы развития транспорта // Теория и практика. 2018. С. 79-81.
- 16 Обыденова А.А., Мясенко Д.М. Исследование физико-механических и органолептических характеристики биоразлагаемой полимерной упаковки на основе полиэтилена, модифицированного оксо-добавкой D2W // Пищевые инновации и биотехнологии. 2022. С. 298-300.
- 17 Ершова О.В., Бодьян Л.А., Пономарев А.П., Бахаева А.Н. Влияние химической деструкции на изменение физико-механических свойств упаковочных полимерных плёнок с добавкой d2w // Современные проблемы науки и образования. 2015. №. 1-1. С. 1981-1981.
- 18 Серова В.Н., Гарипов Р.М. Флексографская печать на полимерных упаковочных пленках (обзор) // Вестник Технологического университета. 2018. Т. 21. №. 11. С. 106-114.
- 19 Komolova E.A., Toshchakova Y.D., Litunov S.N. Printing on film // In the book: Technology and technology of petrochemical and oil and gas production. Materials of the 9th International Scientific and Technical Conference. 2019. P. 254–255.
- 20 Никуличева С.М. Сочетание различных технологий в полиграфии // Дизайн и архитектура: синтез теории и практики. 2019. С. 207-212.
- 21 Серова В.Н., Носкова Э.Н., Мирхусайнов Э.Р. Характеристики флексографской печати на полимерных пленках // Вестник Казанского технологического университета. 2016. V. 19. №. 15. С. 67-69.

- 22 Кадыкова Ю.А., Арзамасцев С.В., Бредихин П.А. Коронный разряд как метод модификации полиэтилена // Роль опорного вуза в развитии транспортно-энергетического комплекса саратовской области (Трансэнергоком-2018). 2018. С. 38-40.
- 23 Галиханов М.Ф., Шайхиев И.Г., Дряхлов В.О. Применение коронного разряда для модификации полимерных мембран // Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология. 2022. С. 121-125.
- 24 Васильев И.Ю., Ананьев В.В., Чернов М.Е. Тонкие химические технологии // Тонкие химические технологии. 2022. Т. 17. №. 3. С. 231-241. doi: 10.32362/2410-6593-2022-17-3-231-241
- 25 Vasil'ev I.Y., Anan'ev V.V., Sultanova Y.M., Kolkakova V.V. The Influence of the Composition of Polyethylene, Starch, and Monoglyceride Biodegradable Compositions on Their Physicomechanical Properties and Structure // Polymer Science, Series D. 2022. V. 15. №. 1. P. 122-127. doi: 10.1134/S1995421222010257
- 26 Васильев И.Ю., Ананьев В.В., Колпакова В.В., Сарджвеладзе А.С. Разработка технологии получения биоразлагаемых композиций на основе полиэтилена, крахмала и моноглицеридов // Тонкие химические технологии. 2020. Т. 15. №. 6. С. 44-55. doi: 10.32362/2410-6593-2020-15-6-44-55
- 27 Vasilyev I., Ananiev V., Sultanova Yu., Kolkakova V. Effect of the Biodegradable Compounds Composition with Monoglycerides on Mechanical Properties // In: Materials Science Forum. 2021. V. 1031. P. 7-16. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1031.7

References

- 1 Vasilyeva N.G. Biodegradable polymers. Bulletin of Kazan Technological University. 2013. vol. 16. no. 22. pp. 156-157. (in Russian).
- 2 Razavi S.M.A., Cui S.W., Ding H. Structural and physicochemical characteristics of a novel water-soluble gum from Lallemania royleana seed. International Journal of Biological Macromolecules. 2016. vol. 83. pp. 142-151. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2015.11.076
- 3 Kwon S.S., Kong B.J., Park S.N. Physicochemical properties of pH-sensitive hydrogels based on hydroxyethyl cellulose-hyaluronic acid and for applications as transdermal delivery systems for skin lesions. European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics. 2015. vol. 92. pp. 146-154. doi: 10.1016/j.ejpb.2015.02.025
- 4 Salarbashi D., Tajik S., Shojaei-Aliabadi S. et al. Development of new active packaging film made from a soluble soybean polysaccharide incorporated Zataria multiflora Boiss and Mentha pulegium essential oils. Food Chemistry. 2014. vol. 146. pp. 614-622. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.09.014
- 5 Tajik S., Maghsoudlou Y., Khodaiyan F. et al. Soluble soybean polysaccharide: A new carbohydrate to make a biodegradable film for sustainable green packaging. Carbohydrate Polymers. 2013. vol. 97. no. 2. pp. 817-824. doi: 10.1016/j.carbpol.2013.05.037
- 6 Asyakina L.K., Dolganyuka V.F., Belova D.D. et al. The study of rheological behavior and safety metrics of natural biopolymers. Foods and Raw Materials. 2015. vol. 4. no. 1. pp. 70-78. doi: 10.21179/2308-4057-2016-1-70-78
- 7 Torres F.G., Troncoso O.P., Torres C. et al. Biodegradability and mechanical properties of starch films from Andean crops. International Journal of Biological Macromolecules. 2011. vol. 48. no. 4. pp. 603-606. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2011.01.026
- 8 Kolkakova V.V., Usachev I.S., Sarzhveladze A.S., Lukin N.D. et al. Thermoplastic starch in the composition of biodegradable polymer film. Confectionery and bakery production. 2018. no. 1-2. pp. 21-25. (in Russian).
- 9 Lukin D., Kolkakova V., Ananyev V. et al. Application of thermoplastic starch and starch containing waste of food industry in biodegradable polymer compositions. Proceedings of the 12th international conference on polysaccharides-glycoscience. Prague. 2016. pp. 58-62.
- 10 Kolkakova V.V., Usachev I.S., Sarzhveladze A.S., Solomin D.A., Ananyev V.V., Vasiliev I. Yu. Improving the technology of using thermoplastic starch for a biodegradable polymer film. Food industry. 2017. vol. 8. pp. 34-38.
- 11 Avérous L., Pollet E. Biodegradable polymers. Environmental Silicate Nano-Biocomposites. London, Springer, 2012. pp. 13-39. doi: 10.1007/978-1-4471-4108-2_2
- 12 Wilhelm H.M., Sierakowski M.R., Souza G.P. et al. Starch films reinforced with mineral clay. Carbohydrate Polymers. 2003. vol. 52. no. 2. pp. 101-110. doi: 10.1016/S0144-8617(02)00239-4
- 13 Tabasum Shazia, Younas Muhammad, Zaeem Muhammad Ansab, Majeed Irfan et al. A review on blending of corn starch with natural and synthetic polymers, and inorganic nanoparticles with mathematical modeling. International Journal of Biological Macromolecules. 2019. vol. 122. no. 1. pp. 969-996. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.10.092
- 14 Ren H., Ouyang G., Iyer S.S., Yang Y.-T. Mechanism and process window study for die-to-wafer (d2w) hybrid bonding. ECS Journal of Solid State Science and Technology. 2021. vol. 10. no. 6. pp. 064008. doi: 10.1149/2162-8777/ac0a52
- 15 Tokareva N.E. Estimation of the rate of decomposition of polyethylene with the addition of D2W. Innovative factors in the development of transport. Theory and practice. 2018. pp. 79-81. (in Russian).
- 16 Obydenova A.A., Myalenko D.M. Study of physicomechanical and organoleptic characteristics of biodegradable polymer packaging based on polyethylene modified with the oxo-additive D2W. Food Innovations and Biotechnologies. 2022. pp. 298-300. (in Russian).
- 17 Ershova O.V., Bodian L.A., Ponomarev A.P., Bakhaeva A.N. The influence of chemical destruction on changes in the physical and mechanical properties of packaging polymer films with the addition of d2w. Modern problems of science and education. 2015. no. 1-1. pp. 1981-1981. (in Russian).
- 18 Serova V.N., Garipov R.M. Flexographic printing on polymer packaging films (review). Bulletin of the Technological University. 2018. vol. 21. no. 11. pp. 106-114. (in Russian).
- 19 Komolova E.A., Toshchakova Y.D., Litunov S.N. Printing on film. In the book: Technology and technology of petrochemical and oil and gas production. Materials of the 9th International Scientific and Technical Conference. 2019. pp. 254-255.

20 Nikulicheva S.M. Combination of various technologies in printing. Design and architecture: synthesis of theory and practice. 2019. pp. 207-212. (in Russian).

21 Serova V.N., Noskova E.N., Mirkhusainov E.R. Characteristics of flexographic printing on polymer films. Bulletin of the Kazan Technological University. 2016. vol. 19. no. 15. pp. 67-69. (in Russian).

22 Kadykova Yu.A., Arzamastsev S.V., Bredikhin P.A. Corona discharge as a method of polyethylene modification. The role of a flagship university in the development of the transport and energy complex of the Saratov region (Transenergocom-2018). 2018. pp. 38-40. (in Russian).

23 Galikhanov M.F., Shaikhiev I.G., Dryakhlov V.O. Application of corona discharge for modification of polymer membranes. Rational use of natural resources and processing of technogenic raw materials: fundamental problems of science, materials science, chemistry and biotechnology. 2022. pp. 121-125. (in Russian).

24 Vasiliev I.Yu., Ananyev V.V., Chernov M.E. Fine chemical technologies. Fine chemical technologies. 2022. vol. 17. no. 3. pp. 231-241. doi: 10.32362/2410-6593-2022-17-3-231-241 (in Russian).

25 Vasil'ev I.Y., Anan'ev V.V., Sultanova Y.M., Kolpakova V.V. The Influence of the Composition of Polyethylene, Starch, and Monoglyceride Biodegradable Compositions on Their Physicomechanical Properties and Structure. Polymer Science, Series D. 2022. vol. 15. no. 1. p. 122-127. doi: 10.1134/S1995421222010257

26 Vasiliev I.Yu., Ananyev V.V., Kolpakova V.V., Sarzhveladze A.S. Development of technology for producing biodegradable compositions based on polyethylene, starch and monoglycerides. Fine chemical technologies. 2020. vol. 15. no. 6. pp. 44-55. doi: 10.32362/2410-6593-2020-15-6-44-55 (in Russian).

27 Vasilyev I., Ananiev V., Sultanova Yu., Kolpakova V. Effect of the Biodegradable Compounds Composition with Monoglycerides on Mechanical Properties. In: Materials Science Forum. 2021. vol. 1031. pp. 7-16. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1031.7

Сведения об авторах

Илья Ю. Васильев научный сотрудник, кафедра инновационных материалов принтмедиаиндустрии, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия, iljanaras@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8488-5907>

Владимир В. Ананьев к.т.н., профессор, кафедра инновационных материалов принтмедиаиндустрии, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия, vovan261147@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2049-7929>

Information about authors

Ilya Yu. Vasilyev researcher, innovative materials of the printing media industry department, Moscow Polytechnic University, st. Bolshaya Semenovskaya., 38 Moscow, 107023, Russia, iljanaras@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8488-5907>

Vladimir V. Ananyev Cand. Sci. (Engin.), professor, innovative materials of the printing media industry department, Moscow Polytechnic University, st. Bolshaya Semenovskaya., 38 Moscow, 107023, Russia, vovan261147@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2049-7929>

Вклад авторов

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

Contribution

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 24/04/2023	После редакции 12/05/2023	Принята в печать 01/06/2023
Received 24/04/2023	Accepted in revised 12/05/2023	Accepted 01/06/2023

Обзор: биodeградируемые упаковочные пленочные материалы

Лидия В. Александрова¹ lidia.aleksandrova97@gmail.com  0009-0008-9586-0607

Майя В. Успенская¹ mv_uspenskaya@itmo.ru  0000-0003-2510-2639

Александр Л. Ишевский¹ ishev.53@mail.ru  0000-0001-9688-2578

¹Национальный исследовательский университет ИТМО, Кронверкский пр., д. 49, г. Санкт-Петербург, 197101, Россия

Аннотация. В настоящее время биопластики, представляющие собой пластмассы на биологической основе (биodeградируемые/небиodeградируемые), составляют около 1% от примерно 390 миллионов тонн пластика, производимого ежегодно. Однако по мере роста спроса и появления более сложных материалов, продуктов рынок биопластика уже растет очень динамично. Технологии получения биodeградируемых гибких полимерных упаковочных материалов стремительно развиваются в США, Европе. В России разработка технологий по созданию такого рода упаковочных материалов находится в стадии становления. Биodeградируемые упаковочные материалы производятся промышленными предприятиями из изначально биodeградируемых крахмала, полимолочной кислоты, целлюлозы. Также существуют биокomпозитные материалы, создаваемые путем смешения полимера с наполнителем, вводимым для улучшения физико-механических свойств и удешевления конечного продукта. Получение биodeградируемых полимерных материалов биотехнологическим путем является не выгодным дорогостоящим процессом. Традиционные синтетические пластики, получаемые из продуктов переработки нефти, даже с добавлением специальных добавок/присадок (в том числе с использованием оксобиоразлагаемых добавок) нуждаются в дополнительных условиях компостирования. В данной статье проведен анализ рынка упаковочной биodeградируемой продукции и рассмотрены основные пути получения биodeградируемых полимерных гибких упаковочных материалов на основе полимеров, получаемых непосредственно из природного материала. Большое количество исследований посвящено химической модификации таких полимеров, что позволяет получить гибкие упаковочные материалы с улучшенными физико-механическими характеристиками по сравнению с исходными и не уступающими традиционным синтетическим пластикам.

Ключевые слова: полимер, биопластик, крахмал, целлюлоза, хитозан, желатин, биodeградируемость.

Overview: Biodegradable Packaging Film Materials

Lidia V. Alexandrova¹ lidia.aleksandrova97@gmail.com  0009-0008-9586-0607

Mayya V. Uspenskaya¹ mv_uspenskaya@itmo.ru  0000-0003-2510-2639

Alexander L. Ishevsky¹ ishev.53@mail.ru  0000-0001-9688-2578

¹National Research University ITMO, Kronverksky Av., 49, St. Petersburg, 197101, Russia

Abstract. Currently, bioplastics, which are bio-based (biodegradable/non-biodegradable) plastics, account for about 1% of the approximately 390 million tons of plastic produced annually. But as demand is rising, and with more new materials demerging, the market is already growing very dynamically. Europe ranks the 1st place in the field of research and development of bioplastics. About a fifth part of the world's volume of such materials, produce here. The development of such technologies in Russia goes slowly. Biodegradable plastics are mainly produced from starch, polylactic acid and cellulose. Moreover, all of components are biodegradable. So-called biocomposites are also available, which are a mixture of a polymer with a filler introduced in order to reduce the cost of materials and/or to improve the chemical-mechanical properties of the product. The obtaining of biodegradable packaging materials by fermentation process is very expensive. Traditional synthetic plastics with biodegradable additives introduced into them need special composting conditions. In this article, there is the market's analysis of the packaging biodegradable products. It also contains the ways to obtain such products from natural raw materials. A large number of studies are devoted to the chemical modification of such polymers, which makes it possible to obtain flexible packaging materials with improved physical and mechanical characteristics compared to the original and not inferior to traditional synthetic plastics.

Keywords: polymer, bioplastic, starch, cellulose, chitosan, gelatin, biodegradability.

Введение

Проблема переработки пластиковых отходов широко обсуждается на протяжении последних лет. Применение биodeградируемых упаковок, выполняемых с использованием возобновляемого сырья, выступает как альтернатива использованию упаковочных материалов

из синтетических и искусственных полимеров. Конечная упаковка для пищевых продуктов также должна обладать рядом свойств: защищать продукты от попадания на них влаги; пролонгировать срок хранения исходной продукции; при этом обладать бактерицидными свойствами.

Термин биопластик (биополимер) обозначает, что данный пластик создан на биологической

Для цитирования

Александрова Л.В., Успенская М.В., Ишевский А.Л. Обзор: биodeградируемые упаковочные пленочные материалы // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 2. С. 216–225. doi:10.20914/2310-1202-2023-2-216-225

For citation

Alexandrova L.V., Uspenskaya M.V., Ishevsky A.L. Overview: Biodegradable Packaging Film Materials. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 2. pp. 216–225. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-2-216-225

основе (при этом он может быть небiodeградируемым), либо поддается биологическому разложению, или обладает обоими свойствами [1].

В отличие от обычного пластика биodeградируемые биопластики разлагаются в окружающей среде под действием микроорганизмов и физических факторов (УФ-излучение, температура, кислород) на углекислый газ, воду, биомассу и неорганические соединения.

Основными факторами, определяющими стойкость биопластика к разложению, являются молекулярная масса и надмолекулярная структура. При биодеструкции синтетических полимеров происходит возникновение низкомолекулярных биоассимилируемых фрагментов, имеющих на концах цепи гидроксильные, карбонильные группы. Также компактное расположение кристаллических фрагментов полимеров ограничивает их набухание в воде и препятствует попаданию ферментов в матрицу полимера.

В плане получения биodeградируемой упаковки существует несколько подходов: создание полимеров из природных материалов (крахмала, полимолочной кислоты, целлюлозы и т. д.); использование традиционных полимеров с биоразлагающими добавками.

Цель работы – анализ основных тенденций получения биodeградируемых полимерных упаковочных материалов из природных полимеров.

Мировой и российский рынок

Биопластики, производимые из возобновляемых источников, используются в отраслях: упаковки, производстве бытовой электроники, автомобилестроении и ряде других [1, 2]. При этом производство биопластиков составляет не более 1% от 390 млн тонн всех пластиков, производимых ежегодно. Европейский институт биопластиков и научно-исследовательский центр nova-Institute (Германия) опубликовали прогностические данные по увеличению глобальных производственных мощностей по выпуску биопластиков с 2,2 млн тонн в 2022 году до 6,3 млн тонн к 2027 году [1]. В производстве биопластиков основной вклад вносят Азия (45%), Европа (25%), Северная Америка (18%) и Южная Америка (12%) [2].

Небиodeградируемые полимерные материалы на биологической основе, состоящие из ПЭ (био-полиэтилена), ПЭТ (био-полиэтилентерефталата) и ПА (био-полиамидов), составляют около 44% мирового производства биопластиков.

В структуре потребления самой значимой является упаковка. Для получения гибкой упаковки наиболее распространенными являются материалы на основе крахмалов; включающие в себя PLA (полимолочная кислота), PHA

(поли-гидроксикислоты), PBS (полибутиленсукцинат), PBAT (полибутиленадипат терефталат), – они составляют более 55% мирового производства биопластиков [2, 3].

В 2019 году мировой рынок биodeградируемой пластиковой упаковки оценивался в 4,65 миллиарда долларов США, и к концу 2025 года ожидается, что он вырастет в среднем на 17,04%, достигнув рыночной стоимости до 12,06 миллиона долларов США. Это увеличение связано с различными правительственными инициативами по сокращению пластиковых отходов [2].

В последние годы Россия увеличила объемы производства различных видов пластика: так за период с 2014 по 2019 гг. прирост составил 64,2% [4]. Производство всех видов пластмасс только за 2021 год выросло на 8,9% и составило 11,09 млн т. При этом, полимеров полиэтилена (ПЭ), используемого зачастую в упаковке, было произведено в объеме 325,1 тыс. т, что на 6,6% больше показателя 2020 года [5].

Производство биodeградируемых упаковочных полимеров в России находится на пути становления. Рынок пластиковой биоразлагаемой упаковки увеличивается в натуральных показателях на 10–20% ежегодно, чему способствует рост пищевой промышленности [6]. Одним из значимых предприятий в данном секторе является ООО «Компания ЕвроБалт» (г. Санкт-Петербург). Предприятие производит упаковку с использованием добавок для быстрого разложения (оксоразлагаемая упаковка). Группа компаний «Ренова» занимается разработкой проекта постройки высокотехнологичного завода по производству биополимеров PLA мощностью до 130 тыс. тонн в год и объемом инвестиций в 16 млрд рублей [6].

Однако существуют основные сдерживающие факторы для развития данной отрасли: высокая цена биоразлагаемых пластиков, в сравнении с традиционными материалами; риск возникновения дефицита сырья и отсутствие технологических схем производства.

Получение упаковочных материалов

На рисунке 1 представлена классификация биопластиков по составу и свойствам: небiodeградируемые полимеры, получаемые из природного и ископаемого сырья и биodeградируемые полимеры, получаемые из традиционных пластиков с помощью введения специальных добавок; созданные на основе воспроизводимых природных компонентов.

Упаковочные материалы на основе биополимеров в зависимости от способа получения можно разделить на три группы: полимеры, получаемые непосредственно из природного материала (с помощью физической и химической

обработки); полимеры, получаемые синтезом из мономеров (получение полимолочной кислоты); полимеры, получаемые биотехнологическим путем (ферментация сахаров, при которой микроорганизмы синтезируют алифатические полиэфиры – полигидроксibuтират, полигидроксiалканоаты).

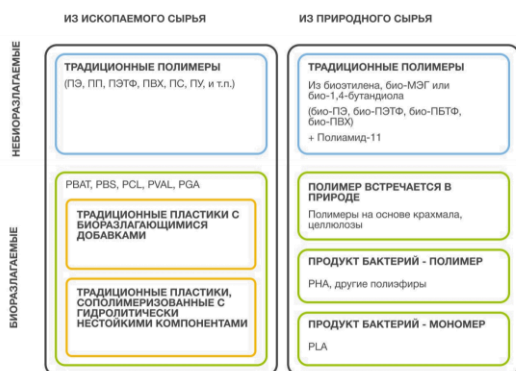


Рисунок 1. Классификация биопластиков [1]

Figure 1. Classification of bioplastics [1]

Полимеры, получаемые непосредственно из природного материала

Хитозан

Хитозан – производное линейного полисахарида, получаемый деацетилированием хитина, находит широкое применение благодаря биосовместимым, нетоксичным, биоразлагаемым и хорошим пленкообразующим свойствам. Хитозан проявляет антимикробную активность в отношении бактерий, грибов и дрожжей [7].

Пленки на основе хитозана часто получают путем растворения хитозана в разбавленных растворах уксусной или соляной кислоты с дальнейшим нанесением на подложку. Для улучшения гибкости пленки, прочности используют пластификаторы, такие как глицерин; а также эмульгаторы Tween 20, Tween 80, Span 20.

В работе [8] в состав хитозан/карбоксиметилцеллюлоза добавляли глицерин концентрацией 0,5 и 0,75 масс. %, что позволило получить пленки со значениями прочности на разрыв в диапазоне 23–39 МПа. Полученные результаты прочности пленок сопоставимы с результатами для аналогичных синтетических материалов Poly Tetra Fluoroethine (PTFE), выпускаемых Dotmar Engineering Plastics. Тест на биоразлагаемость показал полное разложение пленки в почве в течение 14 дней.

Свойства пленок зависят от различных факторов, таких как степень деацетилирования хитозана, pH растворителя, тип используемой кислоты, молекулярная масса и т. д. Для пленок, приготовленных из хитозана с более низким значением деацетилирования, наблюдали более

низкие значения паропроницаемости. Также паропроницаемость уменьшалась при снижении pH пленкообразующего раствора. Тип используемой кислоты существенно влияет на значения паропроницаемости: пленки, полученные с использованием уксусной и пропионовой кислот, демонстрировали сравнительно более низкие значения по данному показателю, чем пленки, полученные с использованием молочной и муравьиной кислоты.

Пленки из хитозана демонстрируют значения прочности на разрыв и удлинения при разрыве, сравнимые с полиэтиленом высокой плотности (HDPE), LDPE и целлофаном [9]. Однако применение хитозана в пищевой упаковке ограничено из-за его высокой чувствительности к влаге. Чтобы преодолеть ограничения этого биоматериала, производят его смешивание с другими природными или синтетическими полимерами, а также добавление нескольких активных и функциональных веществ, таких как наполнители, пластификаторы, сшивающие агенты, натуральные масла, их экстракты и т. д.

Внедрение эфирных масел в пленки из хитозана приводит к улучшению физических свойств, таких как: прочность на разрыв за счет реорганизации полимерной матрицы, и гидрофобность поверхности. Экстракты, полученные из масел, являются отличными источниками фенольных соединений, обладающих потенциальным противомикробным действием.

В работе [10] были получены пленки на основе хитозана с добавлением экстракта (5–20 масс. %) прополиса. Добавление экстракта повысило термическую стабильность и прочностные свойства пленок. Через 15 дней пленки полностью разлагались из-за ферментов, вырабатываемых микроорганизмами в почве [10].

В исследовании [11] были приготовлены бионаноккомпозитные пленки состава кукурузный крахмал/хитозан/наноглина с различным соотношением экстракта семян грейпфрута (GFSE) (0–2% об./об.). Среди приготовленных пленок образцы с содержанием 1,5% GFSE показали лучшие физические, механические и термические свойства. Также данные образцы показали высокую противогрибковую активность в отношении образца хлеба, хранившегося при 25 °C, относительной влажности 59% в течение 20 дней. Разрушение контрольной пленки состава крахмал/хитозан/наноглина происходило быстрее по сравнению с пленками с добавлением GFSE (60 дней). Пленки, содержащие GFSE, обладают более высокой стойкостью к почвенным микробам из-за свойств самой добавки.

Крахмал и целлюлоза

Крахмал, состоящий из амилопектина (поли- α -1,4 – D-глюкопиранозид и α -1,6 – D-глюкопиранозид) и амилозы (поли- α -1,4 – D-глюкопиранозид), является широкодоступным компонентом, получаемым из пшеницы, картофеля, риса, кукурузы. Гранулы крахмала состоят из кристаллических и аморфных областей. Аморфная часть гранул образует непрерывную фазу и включает кристаллические образования типа ламелей, образованные преимущественно амилопектином [12]. Степень кристалличности природного крахмала составляет 15–45%.

Амилоза имеет линейную структуру, амилопектин – сильно разветвленную структуру с короткими цепями, при этом молекулярная масса амилопектина намного больше, чем у амилозы. Высокая молекулярная масса и разветвленная структура амилопектиновой цепи вызывают снижение подвижности полимерных цепей и существенно подрывают их натяжение для образования водородных связей.

Крахмалы с различным содержанием амилозы проявляют различные реологические свойства при получении пленки: суспензии крахмала с низким содержанием амилозы демонстрируют неньютоновское поведение Гершеля-Балкли, суспензии крахмала с высоким содержанием амилозы – поведение жидкости Гершеля-Балкли или Бингама. Пленки на основе крахмала с высоким содержанием амилозы обладают лучшими механическими характеристиками [13]. В исследовании [14] крахмальных пленок с низким и высоким содержанием амилозы было показано, что для крахмала с высоким содержанием амилозы требуется температура гелеобразования выше 30 °C.

В работе [15] изучены термопластичные свойства пленок, полученных методом экструзии картофельного крахмала с низкой и высокой молекулярными массами с добавлением пластификаторов: воды и глицерина. Образцы, содержащие воду: менее 9% были стеклообразными; от 9 до 15% становились эластичными; при введении больше 15% образцы становились непрочными. Такие различия были связаны с разным содержанием воды; термомеханический анализ показал, что температура стеклования снижалась с 59 °C до 5 °C.

Также помимо пластификаторов для улучшения физико-механических свойств добавляют такие компоненты как хитозан, желатин, альгинат натрия. Биodeградируемые пленки на основе крахмала и хитозана, пластифицированные пальмовым маслом, были изготовлены

методом литья [16]. Результаты показали, что более высокая доля хитозана в полимерных смесях приводит к существенному повышению прочности на разрыв и термостабильности пленки.

Распространенным методом улучшения характеристик пленок на основе крахмала является использование сшивающих компонентов. В работе [17] биodeградируемые пленки на основе крахмала и глицерина были получены при 75 °C с использованием лимонной кислоты в качестве сшивающего агента. Введение сшивающего компонента помогло снизить паропроницаемость более чем на 35%. Образцы пленок с лимонной кислотой разлагались в почве на 6 дней дольше, чем образцы без нее. В почве вода диффундировала в образец полимера, вызывая набухание и усиливая разложение в следствие роста микроорганизмов. Введение лимонной кислоты уменьшило водопоглощение. В статье [18] биodeградируемые пленки на основе крахмала и пектина были сшиты глутаровым альдегидом, что позволило повысить прочность на разрыв и относительное удлинение этих пленок, уменьшить их толщину и паропроницаемость.

Применение наноцеллюлозы в крахмальных биокomпозитных пленках открывает новые возможности для создания новой биоразлагаемой упаковки с улучшенными барьерными, механическими свойствами. В работе [19] включение наноцеллюлозы в крахмальные пленки значительно улучшило механические свойства пленок и уменьшило паропроницаемость. Также исследовали биodeградируемость пленок, подвергая воздействию грибов белой гнили (*T. versicolor*). Наблюдалась 50% потеря веса от общего количества сухих веществ через 20 дней; полностью целлюлозные волокна / крахмал разлагались в течение 40 дней.

Нерастворимая в органических растворителях целлюлоза представляет собой линейный полимер, образованный из поверяющихся звеньев целлюлозы. Биodeградация целлюлозы осуществляется бактериями и грибами с ферментативным окислением, в частности, пероксидазами [2].

Известны биопластики из природных целлюлозных материалов, таких как пшеничный глютен, рисовая мука и свекла, или сельскохозяйственных отходов, таких как кожура папайи, кожура дуриана и скорлупа кокоса. Такое сырье доступно в больших количествах, по низкой цене.

В исследовании [20] были получены пленки на основе целлюлозы со структурой поверхности из наностолбиков ZnO. Полученные пленки обладали повышенными механическими и водоотталкивающими свойствами, а также значительной антимикробной активностью

в отношении грамположительных и грамотрицательных бактерий. После 4 недель закапывания в почву процент потери веса пленки без ZnO составил 36%, тогда как процент потери веса пленки с ZnO составил 32%. Разницу можно объяснить плотной структурой пленки, созданной ZnO в объемной фазе пленки. С другой стороны, антимикробные свойства ZnO могут незначительно препятствовать биodeградации, вызванной ферментативной целлюлозой.

В работе [21] УФ-защитные биodeградируемые пленки на основе карбоксиметилцеллюлозы были приготовлены с использованием экстрактов хны. Добавление экстрактов хны увеличивало содержание влаги в пленках, но снижало паропроницаемость и прочность на разрыв. В исследовании [22] были получены биodeградируемые целлюлозные пленки, содержащие экстракт виноградных косточек (GSE) и полиэтиленгликоль (PEG-200). Композитная пленка показала повышенное удлинение и прочность на разрыв (33,09 МПа). Добавка GSE задержала самобiodeградацию по сравнению на 3 дня по сравнению с контрольным образцом.

Желатин

Желатин представляет собой водорастворимый белок, который производится путем частичного или полного гидролиза коллагена. Желатин подразделяется на два типа в зависимости от процесса экстракции. Желатин типа А получают с помощью кислотной экстракции, а желатин типа В – с помощью щелочной. Большая часть желатина извлекается из свиной кожи (46%), бычьих шкур (29,4%), костей свиней и крупного рогатого скота (23,1%), рыбьей кожи (1,5%) [23]. Разложение желатина вызывает фермент протеаза.

Желатин обладает высокой доступностью и биосовместимостью, хорошими механическими и барьерными свойствами. Однако желатиновые пленки становятся при определенных условиях сушки хрупкими, демонстрируют плохое удлинение при разрыве. Кроме того, желатиновые пленки чрезвычайно чувствительны к влаге: при контакте с водой они могут набухать и растворяться [2].

Введение в пленки на основе желатина пластификаторов улучшает функциональные свойства пленок. Было обнаружено, что гидрофильные пластификаторы, включающие в себя полиолы, жирные кислоты, моносахариды, дисахариды, особенно эффективны для пластификации желатиновых пленок. Гидрофильные пластификаторы растворяются в водном растворе при добавлении их к полимеру, однако при добавлении в высоких концентрациях это может привести к увеличению диффузии воды в полимере [24].

Для достаточной пластификации желатиновой пленки требуется минимум 20% глицерина или любого другого подходящего пластификатора. С увеличением количества пластификатора такие свойства, как предел прочности при растяжении, модуль Юнга и температура стеклования снижаются, а удлинение и газопроницаемость увеличиваются. Сообщается, что желатиновая пленка, содержащая 25% глицерина, обладает максимальной прочностью на разрыв и оптимальным модулем упругости [25].

Желатиновая пленка, пластифицированная только сорбитом, легко трескается. В статье [26] описано, что включение глицерин-сорбита в качестве пластификатора в желатиновую пленку позволяет получить пленки со стабильными физико-механическими свойствами.

Чтобы улучшить или изменить механические и барьерные свойства желатиновой пленки, в нее добавляют различные добавки. В работе [27] желатиновые пленки, пластифицированные различным содержанием глицерина (0–40 масс. %), сшивали с помощью трансглутаминазы (ТГ). Пленки, модифицированные ТГазой, показали относительное увеличение удлинения при разрыве на 294% при содержании глицерина 30%. Однако модификация ТГазой не улучшала предел прочности при растяжении и модуль Юнга пленок независимо от содержания глицерина. Присутствие глицерина и ТГазы влияло как на формирование структур тройной спирали, так и на конформации вторичной структуры.

В статье [28] желатин был сшит хлоридом тетраакис(гидроксиметил)фосфония для снижения гигроскопичности. Затем в желатиновую сетку вводили поливиниловый спирт (ПВС). Полученные пленки показали высокие значения прочности на разрыв (до 32 МПа). Пленки обладают хорошей водостойкостью, отличным светопропусканием и хорошей биоразлагаемостью в почве.

В статье [29] получали пленки на основе хитозана / желатина с добавлением эфирного масла *Ziziphora clinopodioides* (ZEO; 0 и 1% по объему) и спиртового экстракта виноградных косточек (GSE; 0 и 1% по объему). Основными соединениями ZEO были карвакрол (65,22%) и тимол (19,51%). Введение ZEO и GSE снизило степень набухания пленок, повысило антибактериальную и антиоксидантную активность и паропроницаемость.

Концентрат соевого белка

Концентрат соевого белка, являющийся недорогим биосовместимым и биodeградируемым компонентом, имеет концентрацию белка 70% и

не содержит водорастворимых углеводов. Пленки из концентрата соевого белка изначально не обладают хорошими барьерными и механическими свойствами из-за гидрофильной природы белка. Добавление 25% стеариновой кислоты к концентрату соевого белка улучшает термические свойства, прочность при растяжении и снижает чувствительность к влаге [2]. В работе [30] в пленки на основе соевого белка / альгината натрия вводили стеариновую и лауриновую кислоты. Пленки со стеариновой кислотой продемонстрировали более высокие гидрофобные характеристики и превосходные влагозащитные свойства, чем другие пленки. Пленки, содержащие лауриновую кислоту, демонстрировали более высокое удлинение при разрыве, чем пленки, содержащие стеариновую кислоту.

В исследовании [31] получали нанокомпозитные пленки на основе соевого белка, армированного нанокристаллами целлюлозы и наночастицами оксида цинка. Добавление армирующих агентов улучшило прочность на разрыв, паропроницаемость, водостойкость и термическую стабильность пленок. Заполняющий эффект наноармирующих материалов и их взаимодействие с матрицей пленки способствовали формированию компактной и однородной структуры пленки.

В работе [32] ряд композитных пленок на основе соевого белка был приготовлен путем комбинирования с нановолокнами целлюлозы (CNF), оксидом графена (GO), диглицидиловым эфиром этиленгликоля (EDGE). Результаты показали, что при добавлении небольшого количества армированных материалов (3%) улучшились водостойкость, гидрофильность, механические свойства и термостойкость композитных пленок. Эффект наполнения и водородные связи армирующих материалов способствуют формированию пленочной структуры.

Механизм биодеградации

Деструкция полимерных материалов, происходящая в условиях захоронения в почве,

представляет собой сложный процесс, включающий как химический гидролиз, так и бактериальную деградацию. Большая часть химического гидролиза происходит в начале из-за поглощения влаги из окружающей среды [33]. Существуют различные факторы, которые контролируют скорость биодеградации: природа ферментов, тип фермента, местонахождение фермента (внеклеточный, внутриклеточный), тип субстрата, pH, температура, влажность и т. д. [2]

Механизм деградации полимерных гибких упаковочных материалов в условиях захоронения в почве схематично представлен на рисунке 2. Можно выделить несколько стадий.

- Первая стадия включает поглощение воды пленками, что способствует закреплению микроорганизмов на их поверхности.

- На стадии 2 происходит начальная деградация пленок. Микроорганизмы выделяют различные каталитические агенты, в основном ферменты, которые расщепляют молекулы. В результате гидролиза полимерных цепей под действием микробов начинает образовываться вода, углекислый газ и другая метаболическая биомасса.

- Существенная деградация матрицы пленки начинается на стадии 3, когда микроорганизмы проникли дальше и начали расщеплять полимер на более мелкие молекулярные единицы. Некоторые фрагментированные олигомеры, димеры и мономеры распознаются рецепторами микробов и проходят через плазматическую мембрану микробной клетки. Нераспознанный фрагмент остается во внеклеточном окружении. Молекулы попадают в цитоплазму, интегрируются в метаболизм с образованием многочисленных первичных и вторичных метаболитов с биомассой и энергией.

- На заключительном этапе происходит полное разрушение: CO_2 , CH_4 , H_2O и другие вещества выделяются в окружающую среду.

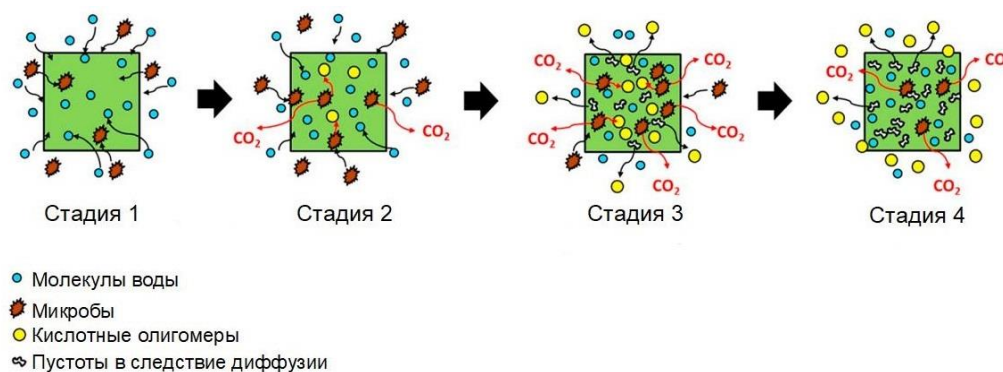


Рисунок 2. Схематическая иллюстрация механизма разложения пленок при захоронении в почве [33]

Figure 2. Schematic illustration of the mechanism of film decomposition during burial in soil [33]

Применение

Съедобная пленка

Съедобная пленка является отличной альтернативой для защиты пищевых продуктов благодаря хорошим барьерным и механическим свойствам, контролю высвобождения активных компонентов. Такие пленки защищают пищу от различных воздействующих факторов и вместе с тем их можно употреблять в пищу.

В течение многих лет мясная промышленность использует в коммерческих целях пленки на основе полисахаридов. Пленка на основе полисахарида нашла применение для продления срока хранения фруктов и овощей благодаря хорошим газонепроницаемым свойствам и прекрасному прилипанию к поверхности нарезанных фруктов и овощей. Однако они не обладают хорошей влагостойкостью из-за своей гидрофильной природы [2].

Производные целлюлозы входят в многие коммерческие съедобные покрытия из-за их способности проявлять термोजелирование, т. е. образовывать гели при нагревании и возвращаться к исходной консистенции при охлаждении.

Хитозан и желатин являются двумя широко используемыми компонентами для получения съедобных пленок. Желатиновые покрытия уменьшают влажность и не допускают миграции масла [10]. Колбасная оболочка, изготовленная из коллагена, является самой успешной коммерчески доступной съедобной белковой пленкой. Пленки, обернутые поверх оттаявшего и охлажденного говяжьего стейка, уменьшают экссудацию, не влияя на цвет или окисление липидов.

Активная упаковка

Активная упаковка является инновационным методом сохранения срока годности пищевых продуктов. Система активной упаковки включает в себя вещества: абсорберы, которые удаляют CO₂, O₂, влагу, этилен; и эмиттеры, которые включают в себя различные соединения, такие как антимикробные вещества, антиоксиданты, ароматизаторы и т. д.

В работе были получены активные антимикробные пленки на основе хитозана, армированные наночастицами оксида цинка и наноэмульсией эвгенола. Введение наноэмульсии эвгенола

в хитозан значительно улучшило барьерные свойства изготовленных композитных пленок в 3–6 раз и их антибактериальные свойства [34].

Активная упаковка применяется при производстве молочных продуктов. У некоторых людей есть дефицит выработки фермента, расщепляющего лактозу. Введение лактазы – фермента, гидролизующего молочный сахар, в полимерную основу позволяет получать диетический продукт – “безлактозное молоко”. Также можно эффективно снижать содержание холестерина в молоке и молочных продуктах с помощью холестеролредуктазы, иммобилизованной в упаковочном полимерном материале [35].

Одной из современных систем активной упаковки является включение оксида цинка и эфирного масла орегано в очень тонкую «био-бумагу», изготовленную из полимера полигидроксисилканоатного типа. Бумага обладает антимикробной активностью в отношении золотистого стафилококка и кишечной палочки [36].

Заключение

Технологии получения биodeградируемых полимеров развиваются стремительно в США, Европе, Японии. В России разработки по данной тематике находятся в стадии начального развития. Основными направлениями развития получения биodeградируемых полимеров являются: 1) получение биodeградируемых полиэфиров на базе гидроксикарбоновых кислот; 2) придание традиционным пластикам биodeградируемых свойств путем модификации; 3) производство на основе воспроизводимых природных компонентов. Производство гибких упаковочных полимерных материалов на основе воспроизводимых природных компонентов является активно развивающимся направлением. Крупнейшие фирмы в промышленных масштабах занимаются выпуском гибкой полимерной упаковки, в основном, на основе крахмалов. Представлен обзор исследований, в которых гибкие биodeградируемые пленки получали на основе целлюлозы, крахмала, хитозана, желатина, соевого белка. В пищевой сфере биodeградируемая упаковка может использоваться в качестве съедобной, активной упаковки, позволяющей пролонгировать сроки годности исходного продукта.

Литература

- 1 Wilde B. Bioplastics market data. European Bioplastics. URL: <https://www.european-bioplastics.org/>
- 2 Shaikh S. An overview of biodegradable packaging in food industry // *Current Research in Food Science*. 2021. № 4. P. 503–520. doi: 10.1016/j.crfs.2021.07.005
- 3 Degnan T. Global \$10+ bn biodegradable plastic market outlook // *Focus on catalysts*. 2019. № 12. P. 3. doi: 10.1016/j.focat.2019.11.009.
- 4 Сперанская О. Российский рынок пластика // *Пластик и пластиковые отходы в России*. 2021. № 1. С. 6–9.
- 5 Волкова А.В. Россия. Производство первичных полимеров. URL: <https://plastinfo.ru/>
- 6 Чарный М. Промышленные биотехнологии // *Обзор рынка биотехнологий в России*. 2021. № 1. С. 48–51.

- 7 Priyadarshi R. Chitosan-based biodegradable functional films for food packaging applications // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2020. V. 62. P. 1–16. doi: 10.1016/j.ifset.2020.102346.
- 8 Hidayati S. Effect of glycerol concentration and carboxy methyl cellulose on biodegradable film characteristics of seaweed waste // *Heliyon*. 2021. V. 7. № 8. P. 1–9. doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e07799
- 9 Butler B.L., Vergano P.J., Testin R.F. Mechanical and Barrier Properties of Edible Chitosan Films as affected by Composition and Storage // *Food Science*. 1996. V. 61. № 5. P. 953–956. doi: 10.1111/j. 1365–2621.1996.tb10909.x
- 10 Carli C.D. Production of chitosan-based biodegradable active films using bio-waste enriched with polyphenol propolis extract envisaging food packaging application // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2022. V. 213. P. 486–497. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2022.05.155
- 11 Jha P. Effect of grapefruit seed extract ratios on functional properties of corn // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020. № 163. P. 1–11. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.07.251
- 12 Суворова А.И., Тюкова И.С., Труфанова Е.И. Биоразлагаемые полимерные материалы на основе крахмала // *Успехи химии*. 2000. V. 69. № 5. P. 494–503. doi: 10.1070/RC2000v069n05ABEH000505
- 13 Molavi H., Behfar S., Shariati M. A review on biodegradable starch based film // *JMBFS*. 2015. V. 4. № 5. P. 456–461. doi: 10.15414/jmbfs.2015.4.5.456–461
- 14 Muscat D., Adhikari B. Comparative study of film forming behaviour of low and high amylose starches using glycerol and xylitol as plasticizers // *Journal of Food Engineering*. 2012. V. 109. № 2. P. 189–201. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2011.10.019
- 15 Van Soest J.J., Benes K., Wit D. The influence of starch molecular mass on properties of extruded thermoplastic starch // *Polymer*. 1996. V. 37. № 16. P. 3543–3552.
- 16 Hasan M., Gopakumar D., Olaiya N.G., Zarlaida F. et al. Evaluation of the thermomechanical properties and biodegradation of brown rice starch-based chitosan biodegradable composite films // *International Journal of Biological Molecules*. 2020. V. 156. P. 896–905. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.04.039
- 17 Seligra P., Jaramillo C., Fama L. Biodegradable and non-retrogradable eco-films based on starch–glycerol with citric acid as crosslinking agent // *Carbohydrate Polymers*. 2016. V. 138. № 15. P. 66–74. doi: 10.1016/j.carbpol.2015.11.041
- 18 Tien N., Nguyen H., Le N., Khoi T. Biodegradable films from dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peel pectin and potato starches crosslinked with glutaraldehyde // *Food Packaging and Shelf Life*. 2023. V. 37. № 101084. P. 1–12. doi: 10.1016/j.fpsl.2023.101084
- 19 Bangar S., Whiteside S. Nano-cellulose reinforced starch bio composite films – A review on // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2021. V. 185. P. 849–860. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2021.07.017
- 20 Xie Y., Pan Y., Cai P. Cellulose-based antimicrobial films incorporated with ZnO nanopillars on surface as biodegradable and antimicrobial packaging // *Food Chemistry*. 2022. V. 368. № 130784. P. 1–12. doi: 10.1016/j.foodchem.2021.130784
- 21 Danmatam N., Pearce J.T.H., Pattavarakorn D. UV-Shielding biodegradable films based on carboxymethyl cellulose filled with henna extracts // *Materials today*. 2023. V. 74. № 3. P. 450–456.
- 22 Zhang Y., Li J., Huang X., Yang C. Performance-enhanced regenerated cellulose film by adding grape seed extract // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2023. V. 232. № 123290. P. 1–10. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2023.123290.
- 23 Luo Q., Hossen M., Zeng Y. Gelatin-based composite films and their application in food packaging: A review // *Journal of Food Engineering*. 2022. V. 313. P. 1–16. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2021.110762.
- 24 Suderman N., Isa M. The effect of plasticizers on the functional properties of biodegradable gelatin-based film: A review // *Food Bioscience*. 2018. V. 24. P. 111–119. doi: 10.1016/j.fbio.2018.06.006
- 25 Pushpadass H., Marx D., Hanna M. Effects of Extrusion Temperature and Plasticizers on the Physical and Functional Properties of Starch Films // *Starch*. 2008. V. 60. № 10. P. 527–538. doi: 10.1002/crap. 200800713
- 26 Bergo P., Moraes I. Effects of plasticizer concentration and type on moisture content in gelatin films // *Food Hydrocolloids*. 2013. V. 32. № 2. P. 412–415. doi: 10.1016/j.foodhyd.2013.01.015
- 27 Liu F., Chiou B., Avena-Bustillos R., Zhang Y. Study of combined effects of glycerol and transglutaminase on properties of gelatin // *Food Hydrocolloids*. 2016. V. 65. P. 1–9. doi: 10.1016/j.foodhyd.2016.10.004
- 28 Chen L., Qiang T. Fabrication and evaluation of biodegradable multi-cross-linked mulch film based on waste gelatin // *Chemical Engineering Journal*. 2021. V. 495. № 129639. P. 1–10. doi: 10.1016/j.cej.2021.129639.
- 29 Shahbazi Y. The properties of chitosan and gelatin films incorporated // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2017. V. 99. P. 746–753. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.03.065
- 30 Chen H., Wu C., Feng X., He M. et al. Effects of two fatty acids on soy protein isolate/sodium alginate edible films: Structures and properties // *LWT*. 2022. V. 159. P. 1–12. doi: 10.1016/j.lwt.2022.113221
- 31 Xiao Y., Liu Y., Kang S., Wang K. et al. Development and evaluation of soy protein isolate-based antibacterial nanocomposite films containing cellulose nanocrystals and zinc oxide nanoparticles // *Food Hydrocolloids*. 2020. V. 106. P. 1–11. doi: 10.1016/j.foodhyd.2020.105898
- 32 Wei N., Liao M., Xua K. High-performance soy protein-based films from cellulose nanofibers and graphene oxide constructed synergistically via hydrogen and chemical bonding // *RSC Advances*. 2021. № 37. P. 1–13. doi: 10.1039/D1RA02484A
- 33 Tai N.L., Adhikari R., Shanks R. Aerobic biodegradation of starch–polyurethane flexible films under soil burial condition: Changes in physical structure and chemical composition // *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2019. V. 145. P. 1–11. doi: 10.1016/j.ibiod.2019.104793
- 34 Basumatary I., Mukherjee A., Kumar S. Chitosan-based composite films containing eugenol nanoemulsion, ZnO nanoparticles and Aloe vera gel for active food packaging // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2023. V. 242. № 2. P. 1–12. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2023.124826
- 35 Иванова Т., Розанцев Э. "Активная" упаковка: реальность и перспектива XXI века // *Калкулэйт – производство пищевых упаковок*. URL: <https://www.calculate.ru>
- 36 Barret A. Biodegradable Food Packaging Extending Food Shelf Life. URL: <https://bioplasticsnews.com/>

References

- 1 Wilde B. Bioplastics market data. European Bioplastics. Available at: <https://www.european-bioplastics.org/>
- 2 Shaikh S. An overview of biodegradable packaging in food industry. *Current Research in Food Science*. 2021. no. 4. pp. 503–520. doi: 10.1016/j.crrfs.2021.07.005
- 3 Degnan T. Global \$10+ bn biodegradable plastic market outlook. Focus on catalysts. 2019. no. 12. pp. 3. doi: 10.1016/j.focat.2019.11.009.
- 4 Speranskaya O. Russian plastic market. Plastic and plastic waste in Russia. 2021. no. 1. pp. 6–9. (in Russian).
- 5 Volkova A.V. Russia. Production of primary polymers. Available at: <https://plastinfo.ru/> (in Russian).
- 6 Charny M. Industrial biotechnologies. Review of the biotechnology market in Russia. 2021. no. 1. pp. 48–51. (in Russian).
- 7 Priyadarshi R. Chitosan-based biodegradable functional films for food packaging applications. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2020. vol. 62. pp. 1–16. doi: 10.1016/j.ifset.2020.102346
- 8 Hidayati S. Effect of glycerol concentration and carboxy methyl cellulose on biodegradable film characteristics of seaweed waste. *Heliyon*. 2021. vol. 7. no. 8. pp. 1–9. doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e07799
- 9 Butler B.L., Vergano P.J., Testin R.F. Mechanical and Barrier Properties of Edible Chitosan Films as affected by Composition and Storage. *Food Science*. 1996. vol. 61. no. 5. pp. 953–956. doi: 10.1111/j. 1365-2621.1996.tb10909.x
- 10 Carli C.D. Production of chitosan-based biodegradable active films using bio-waste enriched with polyphenol propolis extract envisaging food packaging application. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2022. vol. 213. pp. 486–497. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2022.05.155
- 11 Jha P. Effect of grapefruit seed extract ratios on functional properties of corn. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020. no. 163. pp. 1–11. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.07.251
- 12 Suvorova A.I., Tyukova I.S., Trufanova E.I. Biodegradable polymer materials based on starch. *Advances in Chemistry*. 2000. vol. 69. no. 5. pp. 494–503. doi: 10.1070/RC2000v069n05ABEH000505 (in Russian).
- 13 Molavi H., Behfar S., Shariati M. A review on biodegradable starch based film. *JMBFS*. 2015. vol. 4. no. 5. pp. 456–461. doi: 10.15414/jmbfs.2015.4.5.456–461
- 14 Muscat D., Adhikari B. Comparative study of film forming behaviour of low and high amylose starches using glycerol and xylitol as plasticizers. *Journal of Food Engineering*. 2012. vol. 109. no. 2. pp. 189–201. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2011.10.019
- 15 Van Soest J.J., Benes K., Wit D. The influence of starch molecular mass on properties of extruded thermoplastic starch. *Polymer*. 1996. vol. 37. no. 16. pp. 3543–3552.
- 16 Hasan M., Gopakumar D., Olaiya N.G., Zarlaida F. et al. Evaluation of the thermomechanical properties and biodegradation of brown rice starch-based chitosan biodegradable composite films. *International Journal of Biological Molecules*. 2020. vol. 156. pp. 896–905. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.04.039
- 17 Seligra P., Jaramillo C., Fama L. Biodegradable and non-retrogradable eco-films based on starch–glycerol with citric acid as crosslinking agent. *Carbohydrate Polymers*. 2016. vol. 138. no. 15. pp. 66–74. doi: 10.1016/j.carbpol.2015.11.041
- 18 Tien N., Nguyen H., Le N., Khoi T. Biodegradable films from dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peel pectin and potato starches crosslinked with glutaraldehyde. *Food Packaging and Shelf Life*. 2023. vol. 37. no. 101084. pp. 1–12. doi: 10.1016/j.fpsl.2023.101084
- 19 Bangar S., Whiteside S. Nano-cellulose reinforced starch bio composite films – A review on. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2021. vol. 185. pp. 849–860. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2021.07.017
- 20 Xie Y., Pan Y., Cai P. Cellulose-based antimicrobial films incorporated with ZnO nanopillars on surface as biodegradable and antimicrobial packaging. *Food Chemistry*. 2022. vol. 368. no. 130784. pp. 1–12. doi: 10.1016/j.foodchem.2021.130784
- 21 Danmatam N., Pearce J.T.H., Pattavarakorn D. UV-Shielding biodegradable films based on carboxymethyl cellulose filled with henna extracts. *Materials today*. 2023. vol. 74. no. 3. pp. 450–456.
- 22 Zhang Y., Li J., Huang X., Yang C. Performance-enhanced regenerated cellulose film by adding grape seed extract. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2023. vol. 232. no. 123290. pp. 1–10. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2023.123290.
- 23 Luo Q., Hossen M., Zeng Y. Gelatin-based composite films and their application in food packaging: A review. *Journal of Food Engineering*. 2022. vol. 313. pp. 1–16. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2021.110762.
- 24 Suderman N., Isa M. The effect of plasticizers on the functional properties of biodegradable gelatin-based film: A review. *Food Bioscience*. 2018. vol. 24. pp. 111–119. doi: 10.1016/j.fbio.2018.06.006
- 25 Pushpadass H., Marx D., Hanna M. Effects of Extrusion Temperature and Plasticizers on the Physical and Functional Properties of Starch Films. *Starch*. 2008. vol. 60. no. 10. pp. 527–538. doi: 10.1002/crap. 200800713
- 26 Bergo P., Moraes I. Effects of plasticizer concentration and type on moisture content in gelatin films. *Food Hydrocolloids*. 2013. vol. 32. no. 2. pp. 412–415. doi: 10.1016/j.foodhyd.2013.01.015
- 27 Liu F., Chiou B., Avena-Bustillos R., Zhang Y. Study of combined effects of glycerol and transglutaminase on properties of gelatin. *Food Hydrocolloids*. 2016. vol. 65. pp. 1–9. doi: 10.1016/j.foodhyd.2016.10.004
- 28 Chen L., Qiang T. Fabrication and evaluation of biodegradable multi-cross-linked mulch film based on waste gelatin. *Chemical Engineering Journal*. 2021. vol. 495. no. 129639. pp. 1–10. doi: 10.1016/j.cej.2021.129639
- 29 Shahbazi Y. The properties of chitosan and gelatin films incorporated. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2017. vol. 99. pp. 746–753. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.03.065
- 30 Chen H., Wu C., Feng X., He M. et al. Effects of two fatty acids on soy protein isolate/sodium alginate edible films: Structures and properties. *LWT*. 2022. vol. 159. pp. 1–12. doi: 10.1016/j.lwt.2022.113221
- 31 Xiao Y., Liu Y., Kang S., Wang K. et al. Development and evaluation of soy protein isolate-based antibacterial nanocomposite films containing cellulose nanocrystals and zinc oxide nanoparticles. *Food Hydrocolloids*. 2020. vol. 106. pp. 1–11. doi: 10.1016/j.foodhyd.2020.105898

32 Wei N., Liao M., Xua K. High-performance soy protein-based films from cellulose nanofibers and graphene oxide constructed synergistically via hydrogen and chemical bonding. RSC Advances. 2021. no. 37. pp. 1–13. doi: 10.1039/D1RA02484A

33 Tai N.L., Adhikari R., Shanks R. Aerobic biodegradation of starch–polyurethane flexible films under soil burial condition: Changes in physical structure and chemical composition. International Biodeterioration & Biodegradation. 2019. vol. 145. pp. 1–11. doi: 10.1016/j.ibiod.2019.104793

34 Basumatary I., Mukherjee A., Kumar S. Chitosan-based composite films containing eugenol nanoemulsion, ZnO nanoparticles and Aloe vera gel for active food packaging. International Journal of Biological Macromolecules. 2023. vol. 242. no. 2. pp. 1–12. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2023.124826

35 Ivanova T., Rozantsev E. “Active” packaging: reality and prospects of the 21st century. Calculate - production of food packaging. Available at: <https://www.calculate.ru> (in Russian).

36 Barret A. Biodegradable Food Packaging Extending Food Shelf Life. Available at: <https://bioplasticsnews.com/>

Сведения об авторах

Лидия В. Александрова аспирант, центр химической инженерии, Национальный исследовательский университет ИТМО, Кронверкский пр., д. 49, г. Санкт-Петербург, 197101, Россия, lidia.aleksandrova97@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0008-9586-0607>

Майя В. Успенская д.т.н., профессор, глава центра химической инженерии, Национальный исследовательский университет ИТМО, Кронверкский пр., д. 49, г. Санкт-Петербург, 197101, Россия, mv_uspenskaya@itmo.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2510-2639>

Александр Л. Ишевский д.т.н., профессор, факультет биотехнологий, Национальный исследовательский университет ИТМО, Кронверкский пр., д. 49, г. Санкт-Петербург, 197101, Россия, ishev.53@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9688-2578>

Вклад авторов

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

Майя В. Успенская консультация в ходе исследования

Александр Л. Ишевский консультация в ходе исследования

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Lidia V. Alexandrova PhD-student, chemical engineering center, National Research University ITMO, Kronverksky Av., 49, St. Petersburg, 197101, Russia, lidia.aleksandrova97@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0008-9586-0607>

Mayya V. Uspenskaya Dr. Sci. (Engin.), professor, chemical engineering center, National Research University ITMO, Kronverksky Av., 49, St. Petersburg, 197101, Russia, mv_uspenskaya@itmo.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2510-2639>

Alexander L. Ishevsky Dr. Sci. (Engin.), professor, faculty of biotechnology, National Research University ITMO, Kronverksky Av., 49, St. Petersburg, 197101, Russia, ishev.53@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9688-2578>

Contribution

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

Mayya V. Uspenskaya consultation during the study

Alexander L. Ishevsky consultation during the study

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 13/03/2023	После редакции 31/03/2023	Принята в печать 19/04/2023
Received 13/03/2023	Accepted in revised 31/03/2023	Accepted 19/04/2023

Исследование пленочных материалов, полученных из модифицированных растворных систем на основе поливинилового спирта

Марина И. Губанова	¹	gubanovami@mgupp.ru	 0000-0003-3547-716X
Никита С. Баженов	¹	bazhenovns@mgupp.ru	 0000-0002-5193-524X
Ирина А. Кирш	¹	irina-kirsh@ya.ru	 0000-0003-3370-4226
Ольга А. Банникова	¹	bannikovaoa@mgupp.ru	 0000-0003-0633-0003
Виктор А. Дымицкий	¹	vdymitskiy@gmail.com	 0000-0002-4096-4053

¹ Российский биотехнологический университет, Волоколамское ш., 11, г. Москва, 125080, Россия

Аннотация. Пленки на основе растворов ПВС в настоящее время привлекают все большее внимание благодаря своей высокой прозрачности, барьерным свойствам и экологичному характеру. Это связано с тем что, пленки ПВС обладает большей гибкостью, прозрачностью, ударной вязкостью и меньшей стоимостью, чем другие упаковочные материалы. При выбрасывании ПВС может разлагаться в естественной среде, не усугубляя загрязнения. Статья посвящена исследованию пленочных материалов, полученных из модифицированных растворных систем на основе поливинилового спирта (ПВС). В качестве исходного продукта использовался поливиниловый спирт марки 098–10, в качестве пластификатора использовался глицерин марки Т 94. Пленки отливали на стекле, затем прогревали в термошкафу при температуре 90 °С в течение 31 часа. Изучено влияние различных концентраций растворов ПВС на барьерные (паропроницаемость) и физико-механические свойства пленок. Показано что, при повышении концентрации глицерина в ПВС сопротивление разрушению увеличивалось, относительное удлинение заметно уменьшалось, а проницаемость полимера резко повышалась. Введение 20–30% пластификатора в ПВС приводило к получению достаточно эластичной пленки к увеличению относительного удлинения при разрыве, а также к снижению предела прочности при растяжении. Проведенный комплекс исследований позволил определить влияние модифицирующих добавок на структурные превращения ПВС композиций для создания покрытий нового поколения. В будущем планируется продолжить исследования по данной тематике, в частности по оптимизации температурно-временного режима формирования покрытий.

Ключевые слова: поливиниловый спирт, покрытия упаковочные, глицерин, модификация, упаковочный материал, паропроницаемость, барьерные свойства.

Investigation of film materials obtained from modified polyvinyl al-cohol-based solution systems

Marina I. Gubanova	¹	gubanovami@mgupp.ru	 0000-0003-3547-716X
Nikita S. Bazhenov	¹	bazhenovns@mgupp.ru	 0000-0002-5193-524X
Irina A. Kirsh	¹	irina-kirsh@ya.ru	 0000-0003-3370-4226
Olga A. Bannikova	¹	bannikovaoa@mgupp.ru	 0000-0003-0633-0003
Victor A. Dymitsky	¹	vdymitskiy@gmail.com	 0000-0002-4096-4053

¹ Russian Biotechnological University, Volokolamskoye Shosse, 11, Moscow, 125080, Russia

Abstract. Films based on PVA solutions are currently attracting increasing attention due to their high transparency, barrier properties and environmentally friendly nature. This is due to the fact that PVA films have greater flexibility, transparency, impact strength and lower cost than other packaging materials. When discarded, PVA can decompose in the natural environment without adding to the pollution. The article is devoted to the study of film materials obtained from modified solution systems based on polyvinyl alcohol (PVA). Polyvinyl alcohol grade 098–10 was used as the starting product; glycerin grade T 94 was used as a plasticizer. The films were cast on glass, then heated in a heating cabinet at a temperature of 90 °C for 31 hours. The influence of different concentrations of PVA solutions on the barrier (vapor permeability) and physical and mechanical properties of films was studied. It was shown that, with an increase in the concentration of glycerol in PVA, the fracture resistance increased, the relative elongation noticeably decreased, and the permeability of the polymer sharply increased. The introduction of 20–30% plasticizer into PVA resulted in the production of a sufficiently elastic film, an increase in elongation at break, and also a decrease in tensile strength. The complex of studies carried out made it possible to determine the influence of modifying additives on the structural transformations of PVA compositions for the creation of new generation coatings. In the future, it is planned to continue research on this topic, in particular on optimizing the temperature-time regime of coating formation

Keywords: polyvinyl alcohol, packaging coatings, glycerin, modification, packaging material, vapor permeability, barrier properties.

Для цитирования

Губанова М.И., Баженов Н.С., Кирш И.А., Банникова О.А., Дымицкий А.В. Исследование пленочных материалов, полученных из модифицированных растворных систем на основе поливинилового спирта // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 2. С. 226–236. doi:10.20914/2310-1202-2023-2-226-236

For citation

Gubanova M.I., Bazhenov N.S., Kirsh I.A., Bannikova O.A., Dymitsky A.V. Investigation of film materials obtained from modified polyvinyl al-cohol-based solution systems. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 2. pp. 226–236. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-2-226-236

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

Введение

Пленки на основе растворов ПВС в настоящее время привлекают все большее внимание благодаря своей высокой прозрачности, барьерным свойствам и экологичному характеру. Это связано с тем что, пленки ПВС обладает большей гибкостью, прозрачностью, ударной вязкостью и меньшей стоимостью, чем другие упаковочные материалы. При выбрасывании ПВС может разлагаться в естественной среде, не усугубляя загрязнения.

Хотя пленки, изготовленные из одного материала, имеют простой технологический процесс, физические характеристики и термическая стабильность таких пленок всегда недостаточно высокие [15]. Следовательно, для улучшения характеристик пленок из одного материала необходимо сочетать с другими веществами и способами обработки для достижения цели практического применения [12].

Установлен экстремальный характер зависимости физико-механических характеристик полимера от содержания пластификатора в широком диапазоне концентраций пленок покрытия на основе ПВС. Показано, что влияние многокомпонентных систем с протеканием побочных реакций между пластификатором и структурирующим агентом пластификатора на свойства структурированного ПВС выражено менее резко по сравнению с чистым полимером. Установлено, что введение этилового спирта в водный раствор ПВС интенсифицирует процесс формирования пленки. Показано влияние состава растворителя на физико-механические свойства пленочного материала на основе ПВС. Показано влияние порядка введения этилового спирта при приготовлении раствора на структуру и свойства пленочного материала.

Пленки, изготовленные из одного материала, имеют простой технологический процесс, физические характеристики и термическая стабильность таких пленок всегда разочаровывают. Следовательно, пленки из одного материала необходимо сочетать с другими веществами и способами обработки для достижения цели практического применения.

Некоторые предыдущие исследования проводились с композитными пленками. Однако, насколько нам известно, ранее сообщалось о нескольких исследованиях съедобных композитных пленок на основе различных компонентов. Поэтому в данной работе исследовали структуру, механические, барьерные и оптические свойства четырех пищевых пленок на основе ПВС, с различной концентрацией и обработанные и не обработанные ультразвуком.

Существует много природных биоразлагаемых полимеров таких как, хитозан и производные целлюлозы которые используются для, упаковки пищевых продуктов для сохранения безопасности пищевых продуктов, а также, жизнеспособности окружающей среды. Однако низкая водостойкость и чувствительность к изменению pH приводят к росту интереса к использованию синтетических биоразлагаемых полимеров Поливиниловый спирт ПВА обладает характерной химической стойкостью в сочетании с гидрофильными свойствами, что сделало его перспективным кандидатом в пищевую упаковку.

Растет интерес к разработке биополимеров и инновационных технологических процессов, которые могут снизить зависимость от ископаемого топлива и перейти на экологически чистую материальную основу. В исследовании группы ученых говорится, что на сегодняшний день наиболее изученными бионаноконструкциями, подходящими для упаковки, являются производные крахмала и целлюлозы, полимолочная кислота (PLA), поликапролактон (PCL), полибутилентерфталат (PBT), поливиниловый спирт (PVA) и полигидроксипропан (PHB) [24].

Также в другом исследовании рассказывают, что в последние годы большое внимание было сосредоточено на исследованиях по замене сырьевых пластмасс на основе нефти экономически эффективным способом биоразлагаемыми материалами, обладающими конкурентоспособными механическими свойствами [33]. Биополимеры считались наиболее перспективными материалами для этой цели.

Биоразлагаемые полимеры можно разделить на четыре категории в зависимости от синтеза и источников [7, 11, 31]:

1. Полимеры из биомассы, такие как агрополимеры из агроресурсов;

а. полисахариды, например, крахмалы (пшеница, картофель, кукуруза) [8, 13, 22], лигноцеллюлозные продукты (древесина, солома, и др.) [26] (пектины, хитозан / хитин, камеди) [30], б. белки и липиды, например, животные (казеин, сыворог, коллаген / желатин) [6, 8, 16, 19, 28, 36] и растительные (зеин, соя и глютен) [10], 2. полимеры, полученные микробиологическим путем, например, полигидроксиалканоаты (PHA), такие как поли(гидроксипропан) (PHB) и поли(гидроксипропан когидроксиалканоат) (PHBV);

3. полимеры, химически синтезированные с использованием мономеров, полученных из агроресурсов, например, полимолочная кислота (PLA);

4. полимеры, мономеры и полимеры которых получены химическим синтезом из ископаемых ресурсов, например, поликапролактон (PCL), полиэфирамины (PEA), алифатические сополиэфиры (например, PBSA) и ароматические сополиэфиры (например, PBAT).

Только последняя категория получена из невозобновляемых ресурсов. Первая категория рассматривается как агрополимеры, а другие называются биоразлагаемыми биополиэфирами [10]. Синтетические полимеры постепенно заменяются биоразлагаемыми материалами, особенно получаемыми из природных ресурсов, из-за их способности к биологическому разложению.

Так, например, группой ученых [5] были изучены и получены многослойные материалы с хорошей межслойной адгезией. Была применена термокомпрессия для ламинирования внутреннего слоя поливинилового спирта (PVA) с двумя внешними слоями полимолочной кислоты (PLA). Многослойные пленки были охарактеризованы с точки зрения их микроструктуры, тепловых характеристик, растягивающих и барьерных свойств.

Также была изучена антимикробная способность материалов путем анализа упакованных образцов говяжьего мяса в течение 17 дней при температуре 5 °С. Активные многослойные слои эффективно контролировали рост микробов в говяжьем мясе во время холодного хранения.

Разработанные группой учёных ламинаты демонстрировали растяжимость свойства, близкие к свойствам пленок PLA, но с повышенной растяжимостью. По сравнению с монослоями барьерная способность многослойных слоев была значительно улучшена за счет сочетания слоев полиэстера и ПВА, которые обеспечивают слоистому слою способность пропускать водяной пар и кислород соответственно. Таким образом, материалы были функционально адекватны для упаковки пищевых продуктов и успешно способствовали сохранению мяса.

В данном исследовании [14] новая полувзаимопроникающая гидрогелевая сеть, состоящая из диакрилата полиэтиленгликоля (PEGDA) / поливинилового спирта. (PVA) / трагакантовая камедь (ТГ) с адаптируемыми механическими, биологическими и физическими характеристиками была изготовлена для целей заживления ран. В нем оценивали степень набухания, механические характеристики, скорость пропускания водяного пара (WVTR), фракцию геля и способность к разложению гидрогелей.

Результаты их работы показали, что включение ПВС в сетки увеличивает коэффициент набухания и снижает пористость. Кроме того, по мере увеличения отношения PEGDA к PVA, отношение WVTR, клеточная адгезия и удлинение сетей увеличивались. Также было обнаружено, что при уменьшении количества PEGDA скорость деградации сетей снижается. Результаты подтвердили нетоксичность гидрогелевых сетей PEGDA/PVA/TG. Таким образом, использование опыта полученного при разработке данного перевязочного материала можно использовать в разработке пищевой пленки.

В рассматриваемой работе [15] был применен катехин как антиоксидантное средство. Его стабильности была повышена за счет конъюгации катехина с крахмальным альдегидом. Полученные конъюгаты крахмал-альдегид-катехин добавляли в смесь четвертичного аммония хитозан (ЧАС) / поливиниловый спирт (ПВС) для приготовления активных упаковочных пленок. В результате ими были получены показали, что конъюгаты крахмал-альдегид-катехин образуют водородные связи с пленкой ЧАС/ ПВС.матриц и изменил однородность пленок. Паропроницаемость, прочность на разрыв и относительное удлинение при разрыве пленок увеличились на 2,51%-16,03%, 11,73%-20,15% и 0,78%-12,15% соответственно; тогда как кислородопроницаемость пленок снизилась на 6,67%-53,33%. Также результаты апробации пленок на арахисовом масле показали, что пленки ЧАС/ПВС, содержащие конъюгаты крахмал-альдегид-катехин, низкие значения перексидного числа и уровни реакционноспособного вещества тиобарбитуровой кислоты.

В исследовании [17] были извлечены экстракты из 14 растений. Полученные экстракты, богатые антоцианами, иммобилизовали в крахмале/ поливинилового спирте. В последующем они были применены для разработки интеллектуальных упаковочных этикеток для контроля свежести свинины и креветок. Экстракты делали метки фиолетовыми, голубовато-фиолетовыми или коричневыми при изменении pH среды. Также экстракты также усиливали способность этикеток блокировать УФ-видимый свет, антиоксиданты. При применении экстрактов ими было выявлено несколько пленок с лидирующими показателями. Применение экстрактов в соединении не изучалось. Для бедующих исследований стоит отметить возможность смешивания экстрактов с высокими показателями в той или иной области.

Также другой группой ученых [27] была изучена и разработана биоразлагаемая пленка на основе цедры сладкого лайма, в которой порошок цедры сладкого лайма (SLPP) выступал в качестве наполнителя, а поливиниловый спирт (PVOH) и крахмал служили матрицей для проявления пленки. Промышленность по переработке сока сладкого лайма производит огромное количество кожуры сладкого лайма, которая считается отходом, и ее управление является ключевой проблемой для пищевого бизнеса. Из отходов, что также поможет решить экологические проблемы.

Для исследования свойств был использован метод литья из раствора и разработаны девять различных композитных пленок путем изменения пропорций порошка. Были получены результаты

отмечающие значительные изменения в положительную сторону по таким показателям как: содержание влаги, растворимость, паропроницаемость, прозрачность, предел прочности при растяжении и относительное удлинение при разрыве.

В рассматриваемом исследовании [21] были изучены антибактериальные свойства и применение в пищевой консервации нановолокнистых пленок (НФ) байкалинлипосомы (БКЛ-ЛП) Пленки загружали в поливиниловый спирт-хитозановые (ПВС-ХС) субстраты для формирования НФ по технологии электроформования.

По результатам исследования выяснилось, что гладкие и однородные NF были сформированы посредством молекулярного взаимодействия между BCL-LP и матрицей PVA-CS. НФ проявляли хорошие антибактериальные эффекты в отношении *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus* за счет разрушения бактерий в результате доставки БКЛ в бактериальные клетки с помощью липосом. Кроме того, NF были совместимы с фибробластами L929. NF BCL-LP/PVA-CS ингибировали потерю веса, потемнение, прогорклость и рост бактерий, а также поддерживали питательные вещества грибов. Использование данного опыта должно хорошо сказаться в дальнейших исследованиях.

В следующей работе [25] рассматриваются нанокompозиты полимер-серебра, считающиеся перспективными функциональными материалами благодаря их уникальным оптическим, антибактериальным и электрическим характеристикам. Поливиниловый спирт (ПВС) и серебряные нанокompозитные пленки изготавливаются методом литья из раствора с последующими различными периодами термообработки для исследования соответствующей структуры, а также их оптических, электрических и механических характеристик.

Было изучено влияние нагрева на образование однородных сферических наночастиц серебра размером 18,5–40,7 нм при различных периодах нагревания и, соответственно, интенсивность пика поверхностного плазмонного резонанса наночастиц серебра увеличивается, что указывает на генерацию большего количества наночастиц с периодом нагревания. Это позволяет утверждать, что и антибактериальные свойства полимера изменяются за счет этого.

Данной группой ученых [29] был приготовлен гибридный раствор с использованием различного процентного содержания сшивающего агента в поливиниловом спирте и тетраэтилоксисиликат для улучшения барьерных свойств двухосноориентированных полипропиленовых (БОПП) пленок. После нанесения покрытия были проверены печатные свойства, и было

обнаружено, что толщина и размер частиц пигмента были одинаковыми, а насыщенность цвета также подходила для упаковки. Применение пленок показало отличные барьерные свойства для хлеба, упакованного в пленку с покрытием и проверенного в течение девяти дней. Результаты показали, что количество микроорганизмов было уменьшено за счет улучшения барьерных свойств путем нанесения покрытия на пленку.

В исследование [34] целью было приготовление активной и чувствительной к pH пленки на основе натрий карбоксиметилцеллюлозы / поливинилового спирта (CPVA) методом литья, который содержал экстракты антоцианов розы (RAE) для контроля свежести свинины. В результате ими было выявлено, что пленка 160-RAEs-CPVA сильно реагировала на pH, показывая разный цвет при разных значениях pH. Кроме того, при мониторинге свежести свинины, хранившейся при 25 °C, светло-зеленый цвет пленки 160-RAEs-CPVA указывал на более высокую свежесть свинины, а темно-зеленый и оранжевый цвет указывал на то, что свинина была испорчена. Таким образом, использование интеллектуальной пленки позволяет наглядно контролировать качество мяса при отсутствии возможности проследить за качеством условий хранения и транспортировки.

Так, например, при рассмотрении растворов в двух соотношениях ПВС / Хитозан (1:1 и 3:1) и нано-диоксид кремния (нано-SiO₂) (0, 0,5 и 1%) в работе [18] были получены результаты изменения их растворимости в воде и снижения паропроницаемости (ПВС) пленок, а также при более высоком содержании ПВС, проверка на прочность показала наиболее высокие результаты. В конечном итоге существенного улучшения структурных и физико-химических свойств пленок удалось добиться при более высоком содержании ПВС и концентрации 1% нано-SiO₂. Основываясь на их результатах, эти нанокompозитные пленки можно считать подходящими для упаковочного сектора и сохраняющими качество пищевых продуктов.

Функциональные характеристики активных ингредиентов в биоразлагаемой упаковке можно повысить, контролируя профили их высвобождения [25]. Это может быть достигнуто путем включения активных ингредиентов в упаковку с многослойной структурой, включая многослойную и композитную упаковку. В многослойных материалах профилем высвобождения можно управлять, изменяя тип, структуру и толщину различных слоев. В композитных материалах профилем высвобождения можно управлять, изменяя взаимодействие активных ингредиентов с окружающей биополимерной матрицей.

Таким образом, использование добавок в растворах на основе ПВС позволяет добиться более лучших показателей в различных физико-механических, барьерных и других свойствах при сохранении прежних свойств присущих данной основе.

Для повышения физико-механических и придания повышенных барьерных свойств этих пленок, исследуется добавление пластификаторов для повышения безопасности и качества пищевых продуктов. После проведенного анализа литературы, водорастворимым пластификаторам, которые могут быть включены в пленки, уделяется большое внимание, поскольку они следуют за основным свойством ПВС и придают ему новые.

В ходе работы нами была поставлена цель разработать модифицированную полимерную композицию, на основе ПВС, для формирования защитных покрытий, способствующую пролонгации сроков хранения пищевых продуктов.

Благодаря близости химического строения пластификатора и поливинилового спирта являются совместимыми соединениями, что позволяет вводить в полимер значительные количества пластификатора до 75%.

Отмечается, что в присутствии воды пластифицирующая эффективность пластификатора увеличивается, подобно воде действуют также многие кислоты, что для нас имеет существенное значение, так как в качестве структурированного агента вводили в композицию щавелевую кислоту.

Считается, что эластичные пленки на основе поливинилового спирта получаются при введении в полимер 65% пластификатора. Для полимеров, контактирующих с пищевыми продуктами, введение таких больших количеств пластификатора нежелательно, т. к. значительном содержании в пленке пластификатора может мигрировать пищевые продукты и придать им посторонний привкус, что, несмотря на нетоксичность и полную физиологическую безвредность пластификатора, не допускается.

В работе изучали влияние глицерина в широком диапазоне концентраций от 0 до 40% на свойства поливинилового спирта с целью выбора концентрации пластификатора для обеспечения требуемых характеристик пленочного материала.

Материалы и методы

В качестве исходного продукта использовался поливиниловый спирт марки 098–10 производство Китай регистрационный номер CAS: 9002–89–5, спецификация таблица 1. В качестве пластификатора использовался глицерин марки Т-94, спецификация таблица 2. Изменения средней толщины пленок в зависимости от концентрации таблица 3.

Таблица 1.

Спецификация ПВС

Table 1.

PVA specification

Плотность Density	1,19–1,31 г./см ³
Т Плавления Melting	> 300° С
РН	5–7
Марка Brand	098–15(G)
Основное вещество Basic Substance	95,3%
Гидролизное число Hydrolysis Number	98,6%
Температура разложения Decomposition temperature	160–200°С

Таблица 2.

Спецификация глицерина

Table 2.

Glycerin specification

Цветное число, мг J2/100 см ² , не более Color number, mg J2/100 cm ² , no more	5
Относительная плотность d при 20 °С по отношению к воде этой же температуры, не менее Relative density d at 20° C with respect to water of the same temperature, not less than	1,2481
Плотность p при 20 °С, г/см ³ , не менее Density p at 20 °C, g/cm ³ , not less	1,244
Реакция глицерина, 0,1 моль/дм ³ раствора HCl или KOH, см ³ , не более Glycerin reaction, 0.1 mol/dm ³ of HCl or KOH solution, cm ³ , no more	1,5
Массовая доля чистого глицерина, %, не менее Mass fraction of pure glycerin, %, not less	94
Массовая доля золы, %, не более Mass fraction of ash, %, no more	0,02
Коэффициент омыления (сложные эфиры), мг KOH на 1 г глицерина, не более Saponification coefficient (esters), mg KOH per 1 g of glycerin, no more	2
Хлориды Chlorides	Следы

Таблица 3.

Толщина пленок различной концентрации

Table 3.

Thickness of films of different concentrations

Концентрация ПВС PVA concentration	Толщина образца (мкм) Sample thickness (microns)
2,5%	62,78
5%	69,89
7,5%	148,57
10%	208,00

Получение пленок из раствора поливинилового спирта. Пленки отливали на стекле, затем прогревали в термощкафу при температуре 90 °С в течение 31 часа. Определение физико-механических свойств (ГОСТ 14236–81 «Пленки полимерные Метод испытания на растяжение»).

Определение физико-механических свойств ПКМ проводилось в соответствии с ГОСТ 14236–81 «Пластмассы. Метод испытания полимерных пленок на растяжение». Прибор – разрывная машина РМ-50 при скорости растяжения 100 мм/мин.

Паропроницаемости пленки определяли с помощью тестера W3 030 (фирма Labthink) стандарт GB1037. Площадь образцов 33,18 см². Показания регистрировали в течение 6 часов. Температура в камере с образцами составляла 37,70 С, относительная влажность 88,6% RH.

Результаты и обсуждение

Проведено исследование плёнок полученных из растворов с концентрацией ПВС 2,5; 5,0; 7,5 и 10% на паропроницаемость. Среднее значение паропроницаемости вычислялось из

данных полученных при проведении пяти повторяющихся экспериментов от пленок одного отлива. График изменения паропроницаемости рисунок 1. Также изучены прочностные свойства пленок таблица 4. Прочностные характеристики проверялись в среднем на 7 образцах из одного отлива.

Для наглядности некоторые результаты прочностных характеристик, полученных на разрывной машине представлены на рисунке 3.

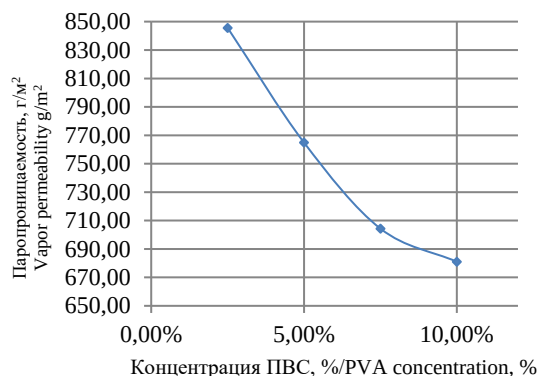


Рисунок 1. График изменения паропроницаемости

Figure 1. Schedule of changes in vapor permeability

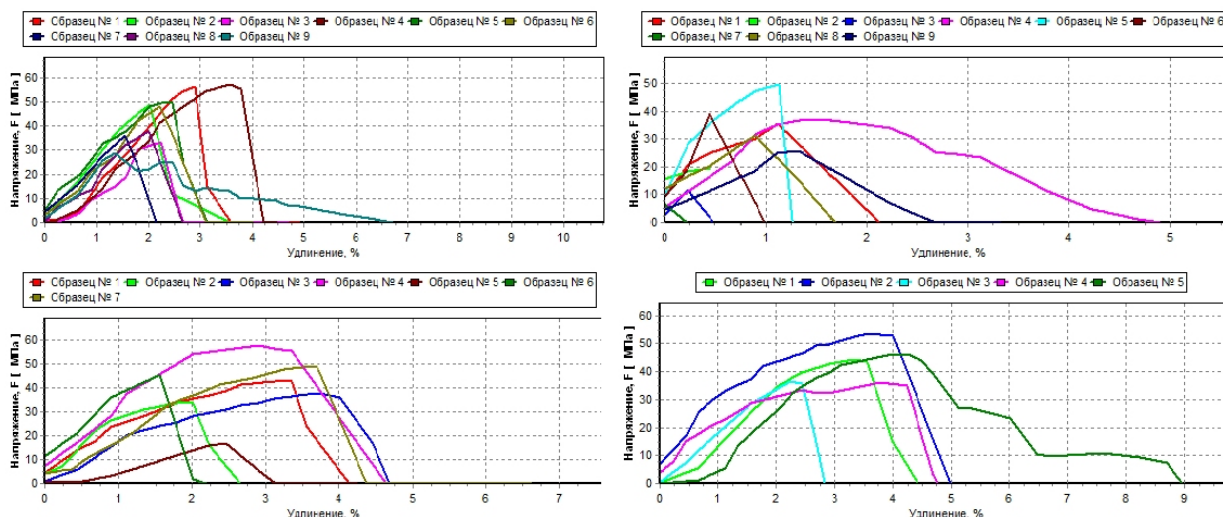


Рисунок 2. Графики измерения прочностных характеристик пленок различной концентрации

Figure 2. Graphs of measurement of strength characteristics of films of various concentrations

По результатам испытаний для дальнейшего проведения эксперимента и введение в образец пластификатора (глицерина) была выбрана пленка с концентрацией 10% ПВС имеющий наилучшие показатели как прочностные, так и барьерные.

На рисунках 6 и 7 представлены данные соответственно влияния концентрации пластификатора на физико-механические характеристики. Как видно из полученных зависимостей, введение небольшого количества пластификатора в ПВС до 30% приводит к обычно наблюдаемым в процессе пластификации совместимым с полимером соединениям закономерностям –

Таблица 4.
Прочностные характеристики пленок различной концентрации (усредненные)

Table 4.
Strength characteristics of films of various concentrations (averaged)

Концентрация ПВС PVA concentration	Максимальная Нагрузка(N) Maximum Load(N)	Удлинение, (мм) Elongation, (mm)	Максимальная Прочность, МПа Maximum Strength, MPa	Относительное удлинение, в % Relative elongation, in %
2,5%	21,47	1,75	44,00	3,49
5%	26,86	3,69	33,34	7,39
7,5%	52,21	2,18	40,42	4,36
10%	87,73	2,83	43,34	5,67

разрушающие напряжение уменьшается, относительное удлинение, и проницаемость полимера повышается по мере увеличения в полимере содержания пластификатора. Пластифицирующий эффект в данном случае определяется внутренней пластификацией полимера – проникновением молекул пластификатора между молекулами спирта, экранированием гидроксильных групп ПВС, что приводит к уменьшению молекулярного взаимодействия, а, следовательно, увеличению гибкости цепей и уменьшению сопротивления разрушению полимера.

В области концентраций пластификатор 30–45% наблюдается аномальный эффект пластификации. Сопротивление разрушению увеличивается, относительное удлинение заметно уменьшается, а проницаемость полимера

резко повышается (больше, чем на порядок). Указанная закономерность сохранялась во всех случаях и может быть объяснена следующим образом: Поливиниловый спирт – жестко цепной кристаллический полимер.



Рисунок 3. Зависимость разрушающего напряжения пленки из ПВС от количества, вводимого в нее пластификатора

Figure 3. Dependence of the destructive stress of the PVS film on the amount of plasticizer introduced into it

Введение глицерина в такой полимер повышает подвижность молекулярных цепей и облегчает их кристаллизацию. В зависимости от содержания и пластификатора происходит образование различных морфологических форм кристаллических структур, характер и размер, который оказывает большое влияние на свойства полимера.

При введении 30–45% пластификатора, предположительно происходит образование крупнокристаллических структур, образование которых приводит к повышению прочности и уменьшению относительного удлинения пленок ПВС.

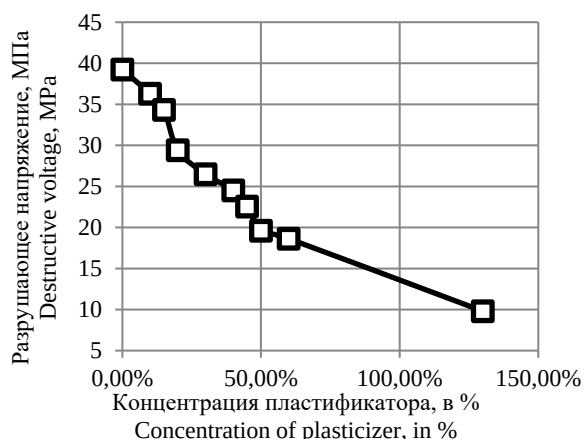


Рисунок 5. Изменение разрушающего напряжения пленки из ПВС с различным содержанием пластификатора выдержанной в течение суток при 100% относительной влажности

Figure 5. Change in the destructive stress of the PVS film with different plasticizer content sustained during the day at 100% relative humidity

Таким образом, изменением количества введенного в полимер пластификатора можно

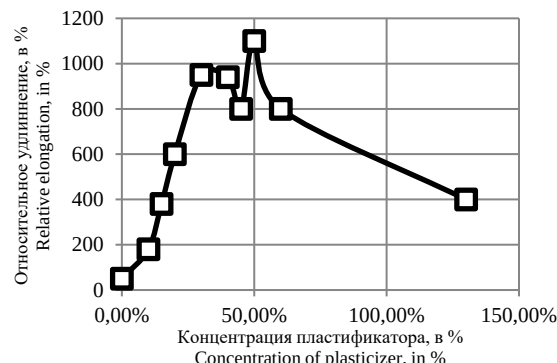


Рисунок 4. Зависимость относительного удлинения пленки из ПВС от количества, вводимого в нее пластификатора

Figure 4. Dependence of the relative elongation of the PVS film on the amount of plasticizer introduced into it

При дальнейшем увеличении концентрации пластификатора в ПВС > 50% происходит разбавление системы низкомолекулярным – компонентом, что ведет к уменьшению прочности и относительного удлинения.

Данные по изменению физико-механических испытаний пленок, выдержанных в течение суток при 100% влажности свидетельствуют рисунки 8 и 9. Как видно из представленных данных, кривые прочности пленок не имеют экстремума, лишь относительное удлинение пленок резко уменьшается в области концентраций пластификатора в полимере 30–45%.

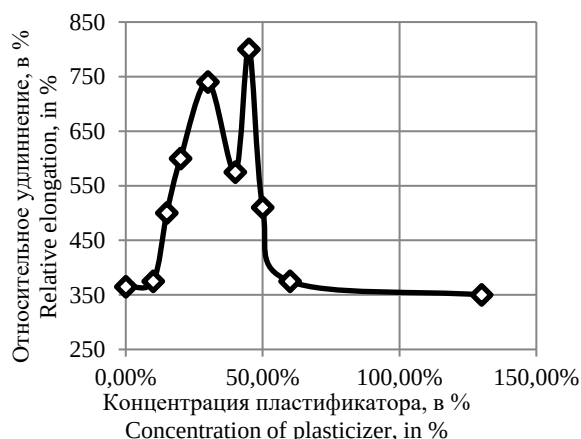


Рисунок 6. Изменение относительного удлинения пленки из ПВС с различным содержанием пластификатора выдержанной в течение суток при 100% относительной влажности

Figure 6. Change in the relative elongation of the PVS film with different plasticizer content aged during the day at 100% relative humidity

значительно менять свойства пленочных материалов. Введение 20–30% пластификатора приводит к получению достаточно эластичной пленки.

Заключение

Полученные зависимости характеристик ПВС от концентрации пластификатора являются результатами действий многих факторов на структуру и свойства полимера. Как известно, структура полимера формируется уже в растворе и зависит от введенных добавок. Введение пластификатора, который является растворителем ПВС, меняет состав растворителя: из водного он становится водно-пластифицированным.

По результатам проведенных исследований влияния пластификатора в широком диапазоне концентраций на свойства пленки на основе ПВС свидетельствует об экстремальном характере зависимости физико-механических характеристик полимера от содержания пластификатора, что связано с влиянием пластификатора

на формирование структуры ПВС. Для получения эластичного пленочного материала на основе ПВС необходимо введение в полимер 30–40% пластификатора.

Влияние пластификатора на свойства структурированного ПВС выражено менее резко по сравнению с чистым полимером, что связано с многокомпонентностью системы и протеканием побочных реакций между пластификатором и структурирующим агентом. Выявлены различия в паропроницаемости у пленок с различной концентрацией ПВС.

Проведенный комплекс исследований позволил определить влияние модифицирующих добавок на структурные превращения ПВС композиций для создания покрытий нового поколения.

В будущем планируется продолжить исследования по данной тематике, в частности по оптимизации температурно-временного режима формирования покрытий.

Литература

- 1 Бабин А.Н., Гусева М.А. Использование реологического метода для исследования особенностей растворимости компонентов в полимерном связующем // Труды ВИАМ. 2016. № 6 (42). С. 36-43. doi: 10.18577/2307-6046-2016-0-6-5-5
- 2 Кабат О.С., Харченко Б.Г., Деркач А.Д., Артемчук В.В. и др. Полимерные композиционные материалы на основе фторопласта и метод их получения // Вопросы Химии и Химической Технологии. 2019. № 3. С. 116-122. doi: 10.32434/0321-4095-2019-124-3-116-122.
- 3 Каблов Е.Н. Из чего сделать будущее? Материалы нового поколения, технологии их создания и переработки-основа инноваций // Крылья родины. 2016. № 5. С. 8-18.
- 4 Каблов Е.Н. Материалы нового поколения-основа инноваций, технологического лидерства и национальной безопасности России // Интеллект и технологии. 2016. № 2. С. 16-21.
- 5 Andrade J., González-Martínez C., Chiralt A. Antimicrobial PLA-PVA multilayer films containing phenolic compounds // Food Chemistry. 2022. № 375. doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2021.131861
- 6 Audic J., Chaufer B. Influence of plasticizers and crosslinking on the properties of biodegradable films made from sodium caseinate // Eur Polym J 2005. V. 41. № 8. P. 1934-42. doi: 10.1016/j.eurpolymj.2005.02.023
- 7 Averous L., Boquillon N. Biocomposites based on plasticized starch: thermal and mechanical behaviours // Carbohydrate polymers. 2004. V. 56. № 2. P. 111-122. doi: 10.1016/j.carbpol.2003.11.015
- 8 Bergo P., Sobral P.J.A. Effects of plasticizer on physical properties of pigskin gelatin films // Food Hydrocolloids. 2007. V. 21. № 8. P. 1285-1289. doi: 10.1016/j.foodhyd.2006.09.014
- 9 Bergo P.V.A., Carvalho R.A., Sobral P.J.A., dos Santos R.M.C. et al. Physical properties of edible films based on cassava starch as affected by the plasticizer concentration // Packaging Technology and Science. 2008. V. 21. № 2. P. 85-89. doi: 10.1002/pts.781
- 10 Bertan L.C., Tanada-Palmu P.S., Siani A.C., Grosso C.R.F. Effect of fatty acids and "Brazilian elemi" on composite films based on gelatin // Food Hydrocolloids. 2005. V. 19. № 1. P. 73-82. doi: 10.1016/j.foodhyd.2004.04.017
- 11 Bordes P., Pollet E., Avérous L. Nano-biocomposites: biodegradable polyester/nanoclay systems // Progress in Polymer Science. 2009. V. 34. № 2. P. 125-155. doi:10.1016/j.progpolymsci.2008.10.002
- 12 Fan K., Zhang M., Jiang F. Ultrasound treatment to modified atmospheric packaged fresh-cut cucumber: Influence on microbial inhibition and storage quality // Ultrasonics Sonochemistry. 2019. № 54. P. 162-170. doi:10.1016/j.ultsonch.2019.02.003
- 13 Garcia M.A., Martino M.N., Zaritzky N.E. Lipid Addition to Improve Barrier Properties of Edible Starch-based Films and Coatings // Journal of Food Science. 2000. V. 65. № 6. P. 941-944. doi:10.1111/j. 1365-2621.2000.tb09397.x
- 14 Hemmatgir F., Koupaei N., Poorazizi E. Characterization of a novel semi-interpenetrating hydrogel network fabricated by polyethylene glycol diacrylate/polyvinyl alcohol/tragacanth gum as a wound dressing // Burns. 2022. V. 48. № 1. P. 146-155. doi: 10.1016/J.BURNS.2021.04.025
- 15 Hu H., Yong H., Yao X., Chen D. et al. Effect of starch aldehyde-catechin conjugates on the structural, physical and antioxidant properties of quaternary ammonium chitosan/polyvinyl alcohol films // Food Hydrocolloids. 2022. V. 124. doi: 10.1016/J.FOODHYD.2021.107279
- 16 Jongjareonrak A., Benjakul S., Visessanguan W., Tanaka, M. Effects of plasticizers on the properties of edible films from skin gelatin of bigeye snapper and brownstripe red snapper // European Food Research and Technology. 2005. V. 222. № 3-4. P. 229-235. doi: 10.1007/s00217-005-0004-3
- 17 Kan J., Liu J., Xu F., Yun D. et al. Development of pork and shrimp freshness monitoring labels based on starch/polyvinyl alcohol matrices and anthocyanins from 14 plants: A comparative study // Food Hydrocolloids. 2022. V. 124. doi: 10.1016/J.FOODHYD.2021.107293

- 18 Kariminejad M., Zibaei R., Kolahdouz-Nasiri A., Mohammadi R. et al. Chitosan/polyvinyl alcohol/SiO₂ nanocomposite films: Physicochemical and structural characterization // *Biointerface Research in Applied Chemistry*. 2022. V. 12. №. 3. P. 3725–3734. doi: 10.33263/BRIAC123.37253734
- 19 Karnnet S., Potiyaraj P., Pimpan V. Preparation and properties of biodegradable stearic acid-modified gelatin films // *Polym Degrad Stab*. 2005. V. 90. №. 1. P. 106–10. doi:10.1016/j.polymdegradstab.2005.02.016
- 20 Ling H., Shen Y., Xu L., Pan H. et al. Preparation and characterization of dual-network interpenetrating structure hydrogels with shape memory and self-healing properties // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2022. P. 636. doi: 10.1016/J.COLSURFA.2021.128061
- 21 Lu S., Tao J., Liu X., Wen Z. Baicalin-liposomes loaded polyvinyl alcohol-chitosan electrospinning nanofibrous films: Characterization, antibacterial properties and preservation effects on mushrooms // *Food Chemistry*. 2022. V. 371. doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2021.131372
- 22 MA X. The plasticizers containing amide groups for thermoplastic starch // *Carbohydrate Polymers*. 2004. V. 57. №. 2. P. 197–203. doi:10.1016/j.carbpol.2004.04.012
- 23 Pashova S., Radev R., Dimitrov G. Physical properties of edible films with different composition // *Calitatea*. 2019. V. 20. №. 171. P. 152-156.
- 24 Rhim J.-W., Park H.-M., Ha C.-S. Bio-nanocomposites for food packaging applications // *Progress in Polymer Science*. 2013. V. 38. №. 10–11. P. 1629–1652. doi:10.1016/j.progpolymsci.2013.05.008
- 25 Sau S., Kundu S. Variation in structure and properties of poly(vinyl alcohol) (PVA) film in the presence of silver nanoparticles grown under heat treatment // *Journal of Molecular Structure*. 2022. V. 1250. doi: 10.1016/J.MOLSTRUC.2021.131699.
- 26 Shaikh H.M., Pandare K.V., Nair G., Varma A.J. Utilization of sugarcane bagasse cellulose for producing cellulose acetates: Novel use of residual hemicellulose as plasticizer // *Carbohydrate Polymers*. 2009. V. 76. №. 1. P. 23–29. doi:10.1016/j.carbpol.2008.09.014
- 27 Singha P., Rani R., Badwaik L.S. Sweet lime peel-, polyvinyl alcohol – and starch-based biodegradable film: preparation and characterization // *Polymer Bulletin*. 2022. doi: 10.1007/S00289–021–04040-X
- 28 Sobral PJA., Santos JS., García FT., Effect of protein and plasticizer concentrations in film forming solutions on physical properties of edible films based on muscle proteins of a Thai Tilapia // *J Food Eng*. 2005. V. 70. №. 1. P. 93–100. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2004.09.015
- 29 Suhag A., Biswas K., Singh S., Kulshreshtha A. Crosslinking effect on polyvinyl alcohol resin for barrier properties of barrier biaxial orientation films // *Progress in Organic Coatings*. 2022. V. 163. doi: 10.1016/J.PORGCOAT.2021.106662
- 30 Suyatma N.E., Tighzert L., Copinet A., Coma V. Effects of hydrophilic plasticizers on mechanical, thermal, and surface properties of chitosan films // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2005. V. 53. №. 10. P. 3950–3957. doi:10.1021/jf048790
- 31 Tharanathan R.N. Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Trends in food science & technology*. 2003. V. 14. №. 3. P. 71–78. doi:10.1016/S0924–2244(02)00280–7
- 32 Thulasisingh A., Kumar K., Yamunadevi B., Poojitha N. et al. Biodegradable packaging materials // *Polymer Bulletin*. 2021. P. 15–23. doi:10.1007/s00289–021–03767-x
- 33 Vieira M.G.A., da Silva M.A., dos Santos L.O., Beppu M.M. Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review // *European Polymer Journal*. 2011. V. 47. №. 3. P. 254–263. doi:10.1016/j.eurpolymj.2010.12.011
- 34 Wang Q., Chen W., Zhu W., McClements D.J. et al. A review of multilayer and composite films and coatings for active biodegradable packaging // *Npj Science of Food*. 2022. V. 6. №. 1. doi:10.1038/s41538–022–00132–8
- 35 Wang Y., Zhang J., Zhang L. An active and pH-responsive film developed by sodium carboxymethyl cellulose/polyvinyl alcohol doped with rose anthocyanin extracts // *Food Chemistry*. 2022. V. 373. doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2021.131367
- 36 Wittaya T. Protein-Based Edible Films: Characteristics and Improvement of Properties // *Structure and Function of Food Engineering*. 2012. doi:10.5772/48167
- 37 Xie J., Wang R., Li Y., Ni Z. et al. A novel Ag₂O-TiO₂-Bi₂WO₆/polyvinyl alcohol composite film with ethylene photocatalytic degradation performance towards banana preservation // *Food Chemistry*. 2022. V. 375. doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2021.131708
- 38 Xie Y., Pan Y., Cai P. Hydroxyl crosslinking reinforced bagasse cellulose/polyvinyl alcohol composite films as biodegradable packaging // *Industrial Crops and Products*. 2022. V. 176. doi: 10.1016/J.INDCROP.2021.114381
- 39 Zhang X., Zou W., Xia M., Zeng Q. et al. Intelligent colorimetric film incorporated with anthocyanins-loaded ovalbumin-propylene glycol alginate nanocomplexes as a stable pH indicator of monitoring pork freshness // *Food Chemistry*, 2022. V. 368. doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2021.130825
- 40 Zhang Y., Gao Q., Zhang S., Fan X. et al. rGO/MXene sandwich-structured film at spunlace non-woven fabric substrate: Application to EMI shielding and electrical heating // *Journal of Colloid and Interface Science*. 2022. V. 614. P. 194–204. doi: 10.1016/J.JCIS.2022.01.030
- 41 Zhao R., Guan W., Zheng P., Tian F. et al. Development of edible composite film based on chitosan nanoparticles and their application in packaging of fresh red sea bream fillets // *Food Control*. 2022. V. 132. doi: 10.1016/J.FOODCONT.2021.108545
- 42 Zheng L., Liu L., Yu J., Shao P. Novel trends and applications of natural pH-responsive indicator film in food packaging for improved quality monitoring // *Food Control*. 2022. V. 134. doi: 10.1016/J.FOODCONT.2021.108769

References

- 1 Babin A.N., Guseva M.A. Using the rheological method to study the solubility of components in a polymer binder. *Proceedings of VIAM*. 2016. no. 6 (42). pp. 36-43. doi: 10.18577/2307–6046–2016–0–6–5–5 (in Russian).
- 2 Kabat O.S., Kharchenko B.G., Derkach A.D., Artemchuk V.V. and others. Polymer composite materials based on fluoroplastic and the method of their production. *Questions of Chemistry and Chemical Technology*. 2019. no. 3. pp. 116-122. doi: 10.32434/0321–4095–2019–124–3–116–122 (in Russian).
- 3 Kablov E.N. What will the future be made of? New generation materials, technologies for their creation and processing are the basis of innovation. *Wings of the Motherland*. 2016. no. 5. pp. 8–18. (in Russian).
- 4 Kablov E.N. New generation materials are the basis of innovation, technological leadership and national security of Russia. *Intelligence and technology*. 2016. no. 2. pp. 16–21. (in Russian).

- 5 Andrade J., González-Martínez C., Chiralt A. Antimicrobial PLA-PVA multilayer films containing phenolic compounds. *Food Chemistry*. 2022. no. 375. doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2021.131861
- 6 Audic J., Chauffer B. Influence of plasticizers and crosslinking on the properties of biodegradable films made from sodium caseinate. *Eur Polym J* 2005. vol. 41. no. 8. pp. 1934–42. doi: 10.1016/j.eurpolymj.2005.02.023
- 7 Averous L., Boquillon N. Biocomposites based on plasticized starch: thermal and mechanical behaviours. *Carbohydrate polymers*. 2004. vol. 56. no. 2. pp. 111–122. doi: 10.1016/j.carbpol.2003.11.015
- 8 Bergo P., Sobral P.J.A. Effects of plasticizer on physical properties of pigskin gelatin films. *Food Hydrocolloids*. 2007. vol. 21. no. 8. pp. 1285–1289. doi: 10.1016/j.foodhyd.2006.09.014
- 9 Bergo P.V.A., Carvalho R.A., Sobral P.J.A., dos Santos R.M.C. et al. Physical properties of edible films based on cassava starch as affected by the plasticizer concentration. *Packaging Technology and Science*. 2008. vol. 21. no. 2. pp. 85–89. doi: 10.1002/pts.781
- 10 Bertan L.C., Tanada-Palmu P.S., Siani A.C., Grosso C.R.F. Effect of fatty acids and “Brazilian elemi” on composite films based on gelatin. *Food Hydrocolloids*. 2005. vol. 19. no. 1. pp. 73–82. doi: 10.1016/j.foodhyd.2004.04.017
- 11 Bordes P., Pollet E., Avérous L. Nano-biocomposites: biodegradable polyester/nanoclay systems. *Progress in Polymer Science*. 2009. vol. 34. no. 2. pp. 125–155. doi:10.1016/j.progpolymsci.2008.10.002
- 12 Fan K., Zhang M., Jiang F. Ultrasound treatment to modified atmospheric packaged fresh-cut cucumber: Influence on microbial inhibition and storage quality. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2019. no. 54. pp. 162–170. doi:10.1016/j.ultsonch.2019.02.003
- 13 Garcia M.A., Martino M.N., Zaritzky N.E. Lipid Addition to Improve Barrier Properties of Edible Starch-based Films and Coatings. *Journal of Food Science*. 2000. vol. 65. no. 6. pp. 941–944. doi:10.1111/j. 1365–2621.2000.tb09397.x
- 14 Hemmatgir F., Koupaei N., Poorazizi E. Characterization of a novel semi-interpenetrating hydrogel network fabricated by polyethylene glycol diacrylate/polyvinyl alcohol/tragacanth gum as a wound dressing. *Burns*. 2022. vol. 48. no. 1. pp. 146–155. doi: 10.1016/J.BURNS.2021.04.025
- 15 Hu H., Yong H., Yao X., Chen D. et al. Effect of starch aldehyde-catechin conjugates on the structural, physical and antioxidant properties of quaternary ammonium chitosan/polyvinyl alcohol films. *Food Hydrocolloids*. 2022. vol. 124. doi: 10.1016/J.FOODHYD.2021.107279
- 16 Jongjareonrak A., Benjakul S., Visessanguan W., Tanaka, M. Effects of plasticizers on the properties of edible films from skin gelatin of bigeye snapper and brownstripe red snapper. *European Food Research and Technology*. 2005. vol. 222. no. 3–4. pp.229–235. doi:10.1007/s00217–005–0004–3
- 17 Kan J., Liu J., Xu F., Yun D. et al. Development of pork and shrimp freshness monitoring labels based on starch/polyvinyl alcohol matrices and anthocyanins from 14 plants: A comparative study. *Food Hydrocolloids*. 2022. vol. 124. doi: 10.1016/J.FOODHYD.2021.107293
- 18 Kariminejad M., Zibaei R., Kolahdouz-Nasiri A., Mohammadi R. et al. Chitosan/polyvinyl alcohol/SiO₂ nanocomposite films: Physicochemical and structural characterization. *Biointerface Research in Applied Chemistry*. 2022. vol. 12. no. 3. pp. 3725–3734. doi: 10.33263/BRIAC123.37253734
- 19 Karnnet S., Potiyaraj P., Pimpan V. Preparation and properties of biodegradable stearic acid-modified gelatin films. *Polym Degrad Stab*. 2005. vol. 90. no. 1. pp. 106–10. doi:10.1016/j.polymdegradstab.2005.02.016
- 20 Ling H., Shen Y., Xu L., Pan H. et al. Preparation and characterization of dual-network interpenetrating structure hydrogels with shape memory and self-healing properties. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2022. pp. 636. doi: 10.1016/J.COLSURFA.2021.128061
- 21 Lu S., Tao J., Liu X., Wen Z. Baicalin-liposomes loaded polyvinyl alcohol-chitosan electrospinning nanofibrous films: Characterization, antibacterial properties and preservation effects on mushrooms. *Food Chemistry*. 2022. vol. 371. doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2021.131372
- 22 MA X. The plasticizers containing amide groups for thermoplastic starch. *Carbohydrate Polymers*. 2004. vol. 57. no. 2. pp. 197–203. doi:10.1016/j.carbpol.2004.04.012
- 23 Pashova S., Radev R., Dimitrov G. Physical properties of edible films with different composition. *Calitatea*. 2019. vol. 20. no. 171. pp. 152–156.
- 24 Rhim J.-W., Park H.-M., Ha C.-S. Bio-nanocomposites for food packaging applications. *Progress in Polymer Science*. 2013. vol. 38. no. 10–11. pp. 1629–1652. doi:10.1016/j.progpolymsci.2013.05.008
- 25 Sau S., Kundu S. Variation in structure and properties of poly(vinyl alcohol) (PVA) film in the presence of silver nanoparticles grown under heat treatment. *Journal of Molecular Structure*. 2022. vol. 1250. doi: 10.1016/J.MOLSTRUC.2021.131699.
- 26 Shaikh H.M., Pandare K.V., Nair G., Varma A.J. Utilization of sugarcane bagasse cellulose for producing cellulose acetates: Novel use of residual hemicellulose as plasticizer. *Carbohydrate Polymers*. 2009. vol. 76. no. 1. pp. 23–29. doi: 10.1016/j.carbpol.2008.09.014
- 27 Singha P., Rani R., Badwaik L.S. Sweet lime peel-, polyvinyl alcohol – and starch-based biodegradable film: preparation and characterization. *Polymer Bulletin*. 2022. doi: 10.1007/S00289–021–04040 X
- 28 Sobral P.J.A., Santos J.S., García F.T., Effect of protein and plasticizer concentrations in film forming solutions on physical properties of edible films based on muscle proteins of a Thai Tilapia. *J Food Eng*. 2005. vol. 70. no. 1. pp. 93–100. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2004.09.015
- 29 Suhag A., Biswas K., Singh S., Kulshreshtha A. Crosslinking effect on polyvinyl alcohol resin for barrier properties of barrier biaxial orientation films. *Progress in Organic Coatings*. 2022. vol. 163. doi: 10.1016/J.PORGCOAT.2021.106662
- 30 Suyatma N.E., Tighzert L., Copinet A., Coma V. Effects of hydrophilic plasticizers on mechanical, thermal, and surface properties of chitosan films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2005. vol. 53. no. 10. pp. 3950–3957. doi:10.1021/jf048790
- 31 Tharanathan R.N. Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Trends in food science & technology*. 2003. vol. 14. no. 3. pp. 71–78. doi:10.1016/S0924–2244(02)00280–7
- 32 Thulasisingh A., Kumar K., Yamunadevi B., Poojitha N. et al. Biodegradable packaging materials. *Polymer Bulletin*. 2021. pp. 15–23. doi:10.1007/s00289–021–03767 x
- 33 Vieira M.G.A., da Silva M.A., dos Santos L.O., Beppu M.M. Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review. *European Polymer Journal*. 2011. vol. 47. no. 3. pp. 254–263. doi:10.1016/j.eurpolymj.2010.12.011
- 34 Wang Q., Chen W., Zhu W., McClements D.J. et al. A review of multilayer and composite films and coatings for active biodegradable packaging. *Npj Science of Food*. 2022. vol. 6. no. 1. doi:10.1038/s41538–022–00132–8
- 35 Wang Y., Zhang J., Zhang L. An active and pH-responsive film developed by sodium carboxymethyl cellulose/polyvinyl alcohol doped with rose anthocyanin extracts. *Food Chemistry*. 2022. vol. 373. doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2021.131367

- 36 Wittaya T. Protein-Based Edible Films: Characteristics and Improvement of Properties. Structure and Function of Food Engineering. 2012. doi:10.5772/48167
- 37 Xie J., Wang R., Li Y., Ni Z. et al. A novel Ag₂O-TiO₂ Bi₂WO₆/polyvinyl alcohol composite film with ethylene photocatalytic degradation performance towards banana preservation. Food Chemistry. 2022. vol. 375. doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2021.131708
- 38 Xie Y., Pan Y., Cai P. Hydroxyl crosslinking reinforced bagasse cellulose/polyvinyl alcohol composite films as biodegradable packaging. Industrial Crops and Products. 2022. vol. 176. doi: 10.1016/J.INDCROP.2021.114381
- 39 Zhang X., Zou W., Xia M., Zeng Q. et al. Intelligent colorimetric film incorporated with anthocyanins-loaded ovalbumin-propylene glycol alginate nanocomplexes as a stable pH indicator of monitoring pork freshness. Food Chemistry. 2022. vol. 368. doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2021.130825
- 40 Zhang Y., Gao Q., Zhang S., Fan X. et al. rGO/MXene sandwich-structured film at spunlace non-woven fabric substrate: Application to EMI shielding and electrical heating. Journal of Colloid and Interface Science. 2022. vol. 614. pp. 194–204. doi: 10.1016/J.JCIS.2022.01.030
- 41 Zhao R., Guan W., Zheng P., Tian F. et al. Development of edible composite film based on chitosan nanoparticles and their application in packaging of fresh red sea bream fillets. Food Control. 2022. vol. 132. doi: 10.1016/J.FOODCONT.2021.108545
- 42 Zheng L., Liu L., Yu J., Shao P. Novel trends and applications of natural pH-responsive indicator film in food packaging for improved quality monitoring. Food Control. 2022. vol. 134. doi: 10.1016/J.FOODCONT.2021.108769

Сведения об авторах

Марина И. Губанова к.т.н., доцент, кафедра промышленного дизайна, технологии упаковки и экспертизы, Российский биотехнологический университет, Волоколамское ш., 11, г. Москва, 125080, Россия, gubanovami@mgupp.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3547-716X>

Никита С. Баженов аспирант, кафедра промышленного дизайна, технологии упаковки и экспертизы, Российский биотехнологический университет, Волоколамское ш., 11, г. Москва, 125080, Россия, bazhenovns@mgupp.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5193-524X>

Ирина А. Кириш д.х.н., доцент, кафедра промышленного дизайна, технологии упаковки и экспертизы, Российский биотехнологический университет, Волоколамское ш., 11, г. Москва, 125080, Россия, irina-kirsh@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3370-4226>

Ольга А. Банникова кафедра промышленного дизайна, технологии упаковки и экспертизы, Российский биотехнологический университет, Волоколамское ш., 11, г. Москва, 125080, Россия, bannikovaoa@mgupp.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0633-0003>

Виктор А. Дымитский аспирант, кафедра промышленного дизайна, технологии упаковки и экспертизы, Российский биотехнологический университет, Волоколамское ш., 11, г. Москва, 125080, Россия, vdymitskiy@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-4096-4053>

Вклад авторов

Марина И. Губанова разработка методологии эксперимента

Никита С. Баженов обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент, выполнил расчёты написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Ирина А. Кириш анализ полученных результатов, редакция текста

Ольга А. Банникова выполнение экспериментальной части

Виктор А. Дымитский обработка экспериментальных результатов, построение графиков

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, Russian Biotechnological University, 11, Volokolamsk sh., Moscow, 125080, Russia, gubanovami@mgupp.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3547-716X>

Nikita S. Bazhenov graduate student, industrial design, packaging technology and expertise department, Russian Biotechnological University, 11, Volokolamsk sh., Moscow, 125080, Russia, bazhenovns@mgupp.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5193-524X>

Irina A. Kirsh Dr. Sci. (Chem.), associate professor, industrial design, packaging technology and expertise department, Russian Biotechnological University, 11, Volokolamsk sh., Moscow, 125080, Russia, irina-kirsh@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3370-4226>

Olga A. Bannikova industrial design, packaging technology and expertise department, Russian Biotechnological University, 11, Volokolamsk sh., Moscow, 125080, Russia, bannikovaoa@mgupp.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0633-0003>

Victor A. Dymitsky graduate student, industrial design, packaging technology and expertise department, Russian Biotechnological University, 11, Volokolamsk sh., Moscow, 125080, Russia, vdymitskiy@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-4096-4053>

Contribution

Marina I. Gubanov development of experimental methodology

Nikita S. Bazhenov review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations, wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Irina A. Kirsh analysis of the results obtained, text revision

Olga A. Bannikova performing the experimental part

Victor A. Dymitsky processing of experimental results, plotting

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 01/04/2023	После редакции 18/04/2023	Принята в печать 30/05/2023
Received 01/04/2023	Accepted in revised 18/04/2023	Accepted 30/05/2023

Электропроводящие полимерные композиты на эластичной волокнистой основе

Анастасия В. Лозицкая¹ belyashiko@mail.ru  0000-0002-6327-0484

Александр Н. Утехин¹ alu-tekhin@ya.ru

Александр П. Кондратов¹ apkrezerv@mail.ru  0000-0001-6118-0808

¹ Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия

Аннотация. Показана возможность получения электропроводящих композитов нанесением суспензий углерода на волокнистые материалы напылением аэрозоля и методом трафаретной печати, на полиграфическом оборудовании, что обеспечивает высокую производительность. Разработана технология изготовления и исследованы электромеханические свойства слоистых волокнистых композитов на основе трикотажа и дисперсии графита, предназначенных для изготовления датчиков деформации и напряжения, применяемых в «носимой электронике», в робототехнике и медицине. В экспериментальном исследовании показано, что проводящий путь, то есть длина цепочек контактирующих частиц наполнителя уменьшается при деформации растяжения вследствие роста микротрещин в материале. Электросопротивление растущих микротрещин имеет гораздо более высокие значения, чем сопротивление деформируемого пьезорезистивного материала. Трещины могут раскрываться и закрываться различным образом при деформации изгиба, кручения, растяжения и сжатия. Электропроводность волокон и нитей существенно зависит от локализации электропроводящих частиц на их поверхности или в объеме. Расположение электропроводящих цепочек на поверхности или в объеме нитей определяет зависимость электрических свойств композитов от состояния окружающей среды (состав, температура, влажность). Предварительные исследования нитей с электропроводящими компонентами различной химической природы (металлы, соли металлов, углерод в различных аллотропных формах), показывают, что изменение температуры и влажности существенно влияют на удельное сопротивление проводящего волокна. В работе представлены данные по влиянию температуры и влажности на электромеханические свойства эластичных волокнистых композитов с графитом. При растяжении до 15 % калибровочный коэффициент GF снижается в 2 раза при 100% влажности. Установлено различное влияние температуры воздуха в диапазоне 10°C–70°C на деформационную и тензочувствительность при циклическом деформировании до 15% и 30%. Наличие двух диапазонов деформационной чувствительности обусловлено различием механизмов удлинения трикотажа за счет распрямления и растяжения нитей. Установлена различная деформационная и тензочувствительность композитов в диапазонах малых и значительных растяжений, при различной температуре и влажности воздуха. Деформационная чувствительность достигает 130, а тензочувствительность 12 МПа⁻¹, что на порядок превышает чувствительность к напряжению известных полимерных композитов с различными электропроводящими наполнителями.

Ключевые слова: полимеры, ткани, электрические характеристики, трикотаж, коэффициент тензочувствительности, дисперсии графита.

Electrically conductive polymer composites based on elastic fiber

Anastasia V. Lozitskaya¹ belyashiko@mail.ru  0000-0002-6327-0484

Alexander N. Utekhin¹ alu-tekhin@ya.ru

Alexander P. Kondratov¹ apkrezerv@mail.ru  0000-0001-6118-0808

¹ Moscow Polytechnic University, 38 B.Semenovskaya str., Moscow, 107023, Russia

Abstract. The possibility of obtaining electrically conductive composites by applying carbon suspensions to fibrous materials by aerosol spraying and screen printing, on printing equipment, which ensures high productivity, is shown. A manufacturing technology has been developed and the electromechanical properties of layered fibrous composites based on knitwear and graphite dispersion designed for the manufacture of strain and stress sensors used in "wearable electronics", robotics and medicine have been investigated. In an experimental study, it is shown that the conductive path, that is, the length of the chains of contacting filler particles decreases with tensile deformation due to the growth of microcracks in the material. The electrical resistance of growing microcracks has much higher values than the resistance of deformable piezoresistive material. Cracks can open and close in various ways during bending, torsion, stretching and compression deformation. The electrical conductivity of fibers and filaments significantly depends on the localization of electrically conductive particles on their surface or in volume. The location of the conductive chains on the surface or in the volume of the filaments determines the dependence of the electrical properties of composites on the state of the environment (composition, temperature, humidity). Preliminary studies of filaments with electrically conductive components of various chemical nature (metals, metal salts, carbon in various allotropic forms) show that changes in temperature and humidity significantly affect the resistivity of the conductive fiber. The paper presents data on the effect of temperature and humidity on the electromechanical properties of elastic fiber composites with graphite. When stretched to 15%, the calibration coefficient GF is reduced by 2 times at 100% humidity. The different influence of air temperature in the range of 10°C–70°C on the deformation and strain sensitivity during cyclic deformation up to 15% and 30% has been established. The presence of two ranges of deformation sensitivity is due to the difference in the mechanisms of elongation of knitwear due to straightening and stretching of threads. Different deformation and strain sensitivity of composites in the ranges of small and significant strains, at different temperatures and humidity of the air, has been established. The strain sensitivity reaches 130, and the strain sensitivity is 12 MPa⁻¹, which is an order of magnitude higher than the stress sensitivity of known polymer composites with various electrically conductive fillers.

Keywords: polymers, fabrics, electrical characteristics, knitwear, strain sensitivity coefficient, graphite dispersion.

Для цитирования

Лозицкая А.В., Утехин А.Н., Кондратов А.П. Электропроводящие полимерные композиты на эластичной волокнистой основе // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 2. С. 237–246. doi:10.20914/2310-1202-2023-2-237-246

For citation

Lozitskaya A.V., Utekhin A.N., Kondratov A.P., Electrically conductive polymer composites based on elastic fiber. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 2. pp. 237–246. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-2-237-246

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

Введение

Гибкие и растягивающиеся электропроводящие полимерные композиты применяются для изготовления различных сенсоров в исполнительных механизмах робототехники, автоматизированных агрегатах и машинах, в медицине. Интеллектуальные текстильные системы, с встроенными тензодатчиками на волокнистой основе используются для мониторинга движения человека [1, 2]. В работах [3–6] исследовали ткани высокой растяжимости для «умной одежды» из волокон с проводящим слоем или из смеси полимерных и металлических нитей. Эти материалы составляют основу так называемой «носимой электроники». Чувствительность волокнистого композита к деформации во многом зависит от структуры ткани и количества проводящих нитей. При исследовании тензочувствительности электропроводящих композитов на основе металлизированных нитей в работе [6] показано увеличение чувствительности композита при скручивании нескольких нитей. Электропроводность полотна и его тензочувствительность увеличивается с увеличением числа нитей. Исследование зависимости электрической проводимости волокнистых композитов различной микро и макроструктуры, невозможно без определения механизма переноса электрически заряженных частиц в композиционном материале, содержащем диэлектрический полимер и электропроводящий наполнитель. Чаще всего наполнителем является металл или углерод в различных аллотропных формах (графит, графен, одностенные и многостенные нанотрубки, сажа). Существуют две основные теории, объясняющие зависимость электрической проводимости от деформации композиций «полимер-металл» или «полимер-углерод». Это туннельная теория пьезоэффекта [7] при афинной деформации полимерной матрицы и теория перколяции [8], т. е. теория объясняющая электропроводность композитов образованием и разрушением электропроводящих путей (цепочек контактирующих частиц наполнителя) [9]. В экспериментальном исследовании [10] показано, что проводящий путь, то есть длина цепочек контактирующих частиц наполнителя уменьшается при деформации растяжения вследствие роста микротрещин в материале. Электросопротивление растущих микротрещин имеет гораздо более высокие значения, чем сопротивление деформируемого пьезорезистивного материала. Трещины могут раскрываться и закрываться различным образом при деформации изгиба, кручения, растяжения и сжатия [11]. Электропроводность волокон и нитей существенно зависит от локализации электропроводящих частиц на их поверхности

или в объеме. Расположение электропроводящих цепочек на поверхности или в объеме нитей определяет зависимость электрических свойств композитов от состояния окружающей среды (состав, температура, влажность). Предварительные исследования нитей с электропроводящими компонентами различной химической природы (металлы, соли металлов, углерод в различных аллотропных формах), показывают, что изменение температуры и влажности существенно влияют на удельное сопротивление проводящего волокна [12].

Цель работы – описание структуры и свойств новых полимерных композитов на волокнистой основе и оценка влияния температуры и влажности воздуха на их электропроводность.

Объекты и методы

В качестве объектов исследования использовали вещества и материалы промышленного производства, соответствующие российским и международным стандартам на их изготовление.

Для нанесения электропроводящего слоя на волокнистую основу композитов (хлопчатобумажный трикотаж) применили суспензию графита в пропанол-2 с политетрафторэтиленом. Суспензия производится и реализуется на рынке в аэрозольной упаковке под маркой GRAPHIT 33/200. Качественный и количественный состав ингредиентов суспензии контролировали с помощью ИК Фурье спектрофотометра FT-801 и дифференциального сканирующего калориметра DSC 204 Phoenix фирмы NETZSCH. Соотношение графита и политетрафторэтилена в сухом остатке суспензии определили методом термогравиметрии на TGA/DSC 3 + (рисунок 1). После термодеструкции и удаления продуктов разложения полимера масса образца уменьшилась на 35% масс. Это изменение массы соответствует доле органических компонентов. Концентрация графита в сухом остатке около 65% масс.

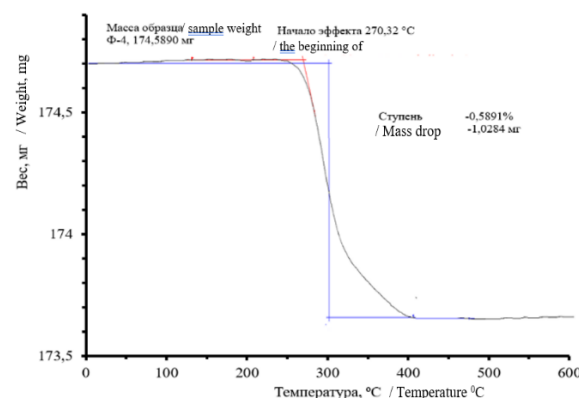


Рисунок 1. Кривая термогравиметрического анализа суспензии графита

Figure 1. Curve of thermogravimetric analysis of graphite suspension

Образцы для испытаний электропроводности размером 10 x 80 мм вырезали из трикотажного полотна, на поверхность которого нанесена дисперсия графита с политетрафторэтиленом распылением из аэрозольной упаковки. Количество графита на поверхности волокнистого материала контролировали по изменению массы полотна после сушки в вакуумном эксикаторе. Доля графита в композите $17 \pm 0,7\%$ масс.

Методика подготовки образцов электропроводящего волокнистого материала для электрофизических измерений включает следующие последовательные стадии:

Кондиционирование промышленного образца трикотажа в эксикаторе в течение 5 суток при температуре $22 \pm 1^\circ \text{C}$ и относительной влажности воздуха 30%,

Напыление дисперсии графита с политетрафторэтиленом в пропанол-2 на образцы из аэрозольной упаковки с расстояния 10 см, в течение 5 секунд, со скоростью перемещения сопла вдоль образца 0,07 м/с.;

Вырезание лентообразных образцов с покрытием, содержащим графит;

Сушка образцов с покрытием в лабораторном помещении при температуре $20 \pm 1^\circ \text{C}$ и

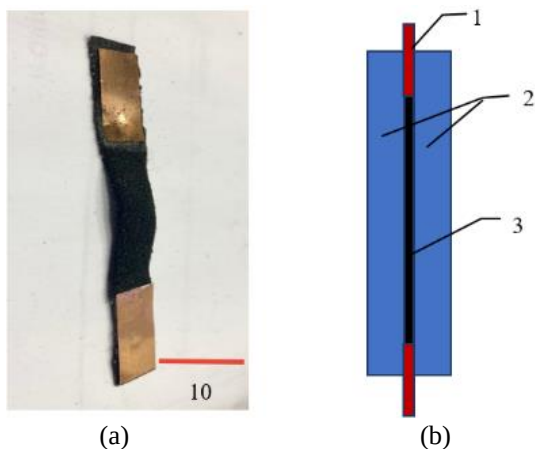


Рисунок 2. Образец полимерного композита для испытаний электропроводности. (а) фотография, (б) схема сборки двуслойного датчика деформации: 1 – электроды (медная фольга); 2 – слои трикотажа; 3 – слой графита

Figure 2. Sample of polymer composite for electrical conductivity testing. (a) photo, (b) assembly diagram of a two-layer deformation sensor: 1 – electrodes (copper foil); 2 – layers of knitwear; 3 – a layer of graphite

Результаты и обсуждение

Волокнистые композиты состоят из трикотажной основы, коллоидного графита и тонких слоев высокомолекулярных соединений. Электропроводящие частицы коллоидного графита заполняют пространство между волокнами и удерживаются на поверхности нитей силами адгезии.

относительной влажности воздуха 30% до постоянной массы;

Измерение массы 10-ти идентичных образцов на аналитических весах с точностью 0,0001 г. и вычислением среднего значения;

Наклеивание электродов из медной фольги электропроводящим клеем контактол марки Keller на поверхность лент, покрытых графитом (рисунок 1);

Кондиционирование образцов в эксикаторе перед проведением механических испытаний и измерения электрического сопротивления при температуре 10 и 70°C и относительной влажности воздуха 45% и 100%.

Двухслойный датчик деформации собирают из трикотажа с электропроводящим покрытием, следующим образом. Размещают отрезки ленты равной длины зеркально и укладывают отрезки попарно друг на друга, т. е. производят дублирование проводящего слоя внутри трикотажа. Между концами отрезков укладывают плоский электрод из медной фольги с проводами и таким образом производят электрическое соединение слоя графита с источником постоянного тока для измерения электрического сопротивления (рисунок 3).

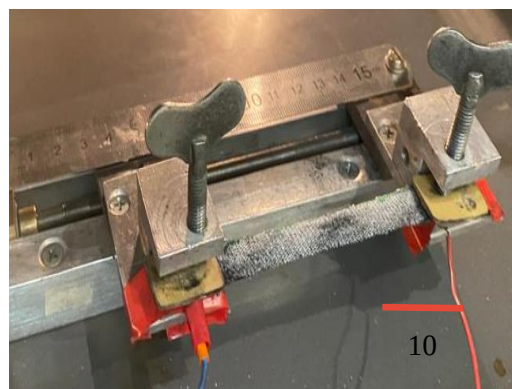


Рисунок 3. Фотография дублированного образца трикотажа с электропроводящим покрытием в зажимах устройства для циклической деформации

Figure 3. Photo of a duplicated sample of knitwear with an electrically conductive coating in the clamps of the device for cyclic deformation

Выбор вида переплетения нитей волокнистой основы тензорезисторов и ориентации вырезания лент относительно направления расположения нитей основы, обосновано в работе.

Композиты после кондиционирования в разных условиях были испытаны путем циклической деформации с постоянной скоростью до относительного удлинения до 50%.

Электропроводность ленты трикотажа со слоем графита шириной 10 мм снижается на десятичный порядок при удлинении до 50% (рисунок 4).

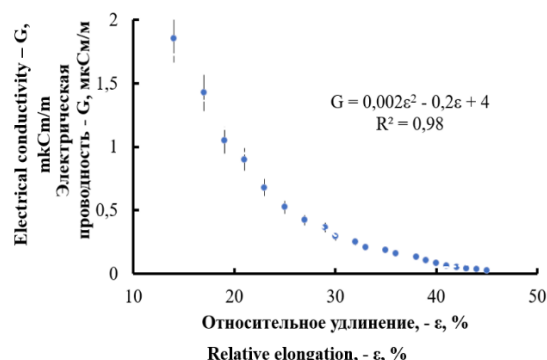


Рисунок 4. Зависимость электропроводности композита от деформации

Figure 4. Dependence of the electrical conductivity of the composite on deformation

Образцы электропроводящих композитов деформировали при температуре $25 \pm 2^\circ\text{C}$ в воздушной среде с фиксированной относительной влажностью. Результаты статистической

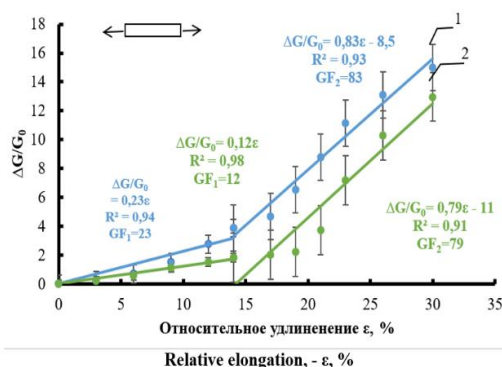


Рисунок 5. Относительное изменение электропроводности лент композита при растяжении. Влажность воздуха: 1 – 45%, 2 – 100%

Figure 5. The relative change in the electrical conductivity of the composite tapes during stretching. Humidity: 1 – 45%, 2 – 100%

Видно, что увеличение влажности воздуха снижает деформационную чувствительность композитов в 2 раза при малых удлинениях.

Для определения причины многократного изменения чувствительности электропроводности композитов к деформации при растяжении свыше 15%, произведена оптическая микротография поверхности с построением 3D модели рельефа и сечения полотна вдоль нитей основы трикотажа (рисунок 7). По форме сечения видно, что нити основы изогнуты, поэтому трикотажное полотно легко деформируется до определённого удлинения за счёт их распрямления. Правоммерно предположить, что при распрямлении нитей монолитность и электропроводность слоя графита на их поверхности не нарушается.

обработки значений электропроводности трикотажной ленты при растяжении, нормированных по величине электропроводности недеформированного трикотажа с покрытием представлены на рисунке 5.

По тангенсу угла наклона прямолинейных участков зависимости изменения электропроводности композитов от относительной деформации рассчитаны калибровочные коэффициенты (GF), определяющие деформационную чувствительность датчиков [13–15].

Для повышения точности аппроксимации экспериментальных данных линейными функциями массив результатов измерений электропроводности трикотажа при малых деформациях растяжения ($0 \div 15\%$) представлен на отдельном графике (рисунок 6). Этот диапазон деформации имеет большее практическое значение при применении композитов в качестве сенсоров измерительных средств малых деформаций, например, применяемых при медицинском контроле мимики, дыхания и сердцебиения человека в плотно прилегающей одежде [16, 17]

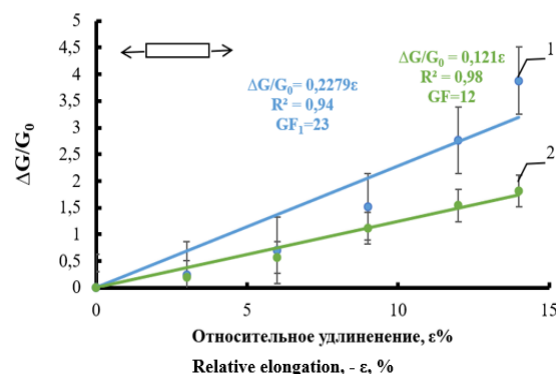


Рисунок 6. Относительное изменение электропроводности лент композита при растяжении. Влажность воздуха: 1 – 45%, 2 – 100%

Figure 6. Relative change in electrical conductivity of composite tapes during stretching. Humidity: 1 – 45%, 2 – 100%

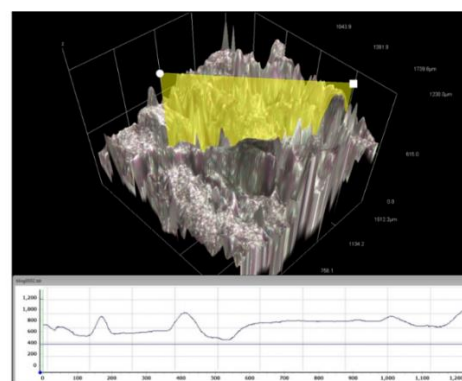


Рисунок 7. 3-D изображение поверхности и профиль сечения трикотажа вдоль нитей основы

Figure 7. 3-D image of the surface and cross-section profile of knitwear along the warp threads

Сравнение длины извилистой линии профиля (рисунок 7) с габаритами образца трикотажа подтверждает предположения о том, что при растяжении до 15% происходит выпрямление нитей, которое не значительно влияет на электропроводность композита. При деформировании трикотажа свыше 15% электропроводность композита резко возрастает за счет увеличения длины и площади внешней поверхности нитей, растрескивания электропроводящего слоя на поверхности и нарушения контакта между отдельными частицами графита.

При эластичном сокращении трикотажа контакт между частицами графита восстанавливается и электропроводность увеличивается. Чувствительность волокнистого композита к деформации оценивается калибровочным коэффициентом (GF), который на лабораторных образцах, полученных по патенту не уступает опубликованным значениям калибровочных коэффициентов (GF) композитов с различными электропроводящими наполнителями [18–21].

Зависимость электропроводности от направления деформации композитов т. е. от растяжения или сокращения не существенна и определяется

лишь её величиной. Калибровочные коэффициенты деформации композитов различной влажности при деформациях свыше 15% велики и достигают 75–117 (рисунок 8, 9).

Таблица 1.

Расчеты калибровочных коэффициентов (GF) зарубежных и отечественных исследователей

Table 1.

Calculations of calibration coefficients (GF) of foreign domestic researchers

Публикации / Publications	GF
19. C. Mattmann, и др. Датчик для измерения деформации в текстильных изделиях, <i>Sensors</i> , 2008, 8, 3719. 19. C. Mattmann, et al. Sensor for measuring deformation in textiles, <i>Sensors</i> , 2008, 8, 3719	≤ 20
20. Hu, Y., и др., Недорогой, пригодный для печати и растягивающийся тензодатчик на основе высокопроводящих эластичных композитов с настраиваемой чувствительностью для мониторинга движений человека. <i>Nano Res.</i> 2018, 11, 1938–1955 20. Hu, Y., et al., An inexpensive, printable and stretchable strain gauge based on highly conductive elastic composites with adjustable sensitivity for monitoring human movements. <i>Nano Res.</i> 2018, 11, 1938–1955	≤ 100
21. Xu Xiao, и др., Датчики высокой деформации на основе гибких пленок полистирола гибризированных нанопроволокой и ZnO. <i>Advanced materials</i> , 2011, 23, 45, 5440–5444. 21. Xu Xiao, et al., High strain sensors based on flexible polystyrene films hybridized with nanowire and ZnO. <i>Advanced materials</i> , 2011, 23, 45, 5440–5444	≤ 120
22. E V Boyko и др., Зависимость электрического сопротивления графена от механической деформации, <i>J. Phys.: Conf. Ser.</i> 1677 012125, 2020 22. E V Boyko et al., Dependence of graphene electrical resistance on mechanical deformation, <i>J. Phys.: Conf. Ser.</i> 1677 012125, 2020	≤ 34

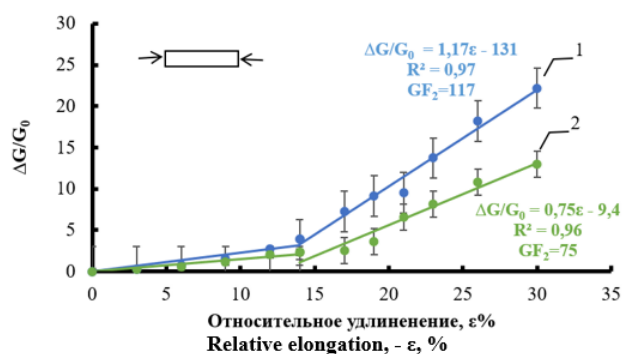


Рисунок 8. Изменение электропроводности лент композита при сокращении. Влажность воздуха: 1 – 45%, 2 – 100%

Figure 8. Change in electrical conductivity of composite tapes during reduction. Air humidity: 1 – 45%, 2 – 100%.

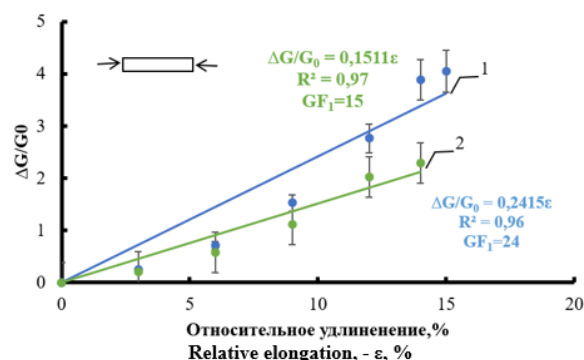


Рисунок 9. Изменение электропроводности лент композита при сокращении. Влажность воздуха: 1 – 45%, 2 – 100%

Figure 9. Change in electrical conductivity of composite tapes during reduction. Air humidity: 1 – 45%, 2 – 100%

На рисунке 6 и 9 показано, относительное изменение электропроводности, эластичных волокнистых композитов при растяжении и сокращении, после кондиционирования в течение 72 часов в атмосфере с различной влажностью воздуха, при температуре 30° С. Видно, что электропроводность и деформационная чувствительность при растяжении и сокращении композитов существенно зависит от относительной влажности воздуха при удлинении более 15%. Калибровочный коэффициент GF при малых деформациях растяжения до 15% и при деформации до 30% различается в 2 раза, но снижается при увеличении влажности воздуха.

Снижение чувствительности электропроводности композитов к циклическим деформациям (растяжения и сокращения) при высокой влажности воздуха обусловлено пластифицирующим действием воды на слой дисперсии графита. Слой дисперсии графита с ПТФЭ на поверхности нитей меньше растрескивается во влажной атмосфере чем в сухой, а микрорастрескивание электропроводящих полимерных композиций с графитом, как доказано в работе [10] является основной причиной увеличения их электросопротивления.

Для практического применения композитов в «умной одежде» представляет интерес исследование чувствительности электропроводности

датчиков деформации в диапазоне температур воздуха, при которых как правило происходит эксплуатация специальной верхней одежды. Для определения влияния температуры на элек-

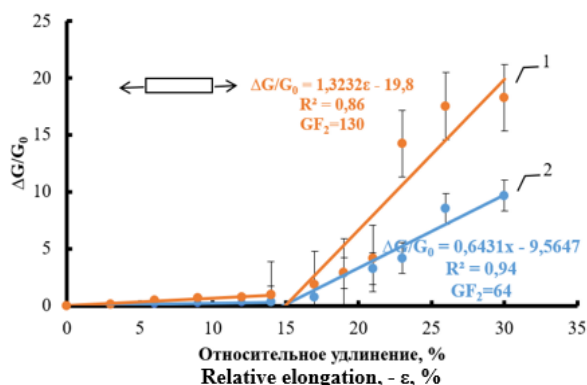


Рисунок 10. Изменение электропроводности лент композита при растяжении до 30% в холодном и горячем воздухе. Температура: 1 – 70 °C; 2 – 10 °C

Figure 10. Change in the electrical conductivity of composite tapes when stretched up to 30% in cold and hot air. Temperature: 11 – 70 °C; 2 – 10 °C

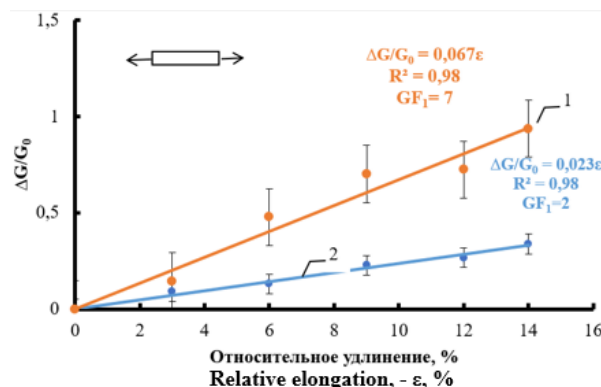


Рисунок 11. Изменение электропроводности лент композита при растяжении до 15% в холодном и горячем воздухе. Температура: 1 – 70 °C; 2 – 10 °C

Figure 11. Change in the electrical conductivity of composite tapes when stretched up to 15% in cold and hot air. Temperature: 1 – 70 °C; 2 – 10 °C

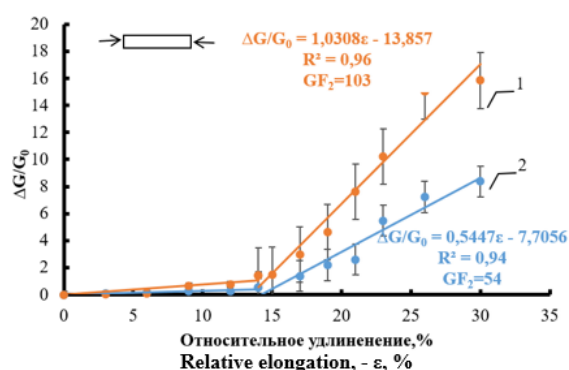


Рисунок 12. Изменение электропроводности лент композита при сокращении до 30%. Температура: 1 – 70 °C; 2 – 10 °C

Figure 12. Change in the electrical conductivity of composite tapes with a reduction of up to 30%. Temperature: 1 – 70 °C; 2 – 10 °C

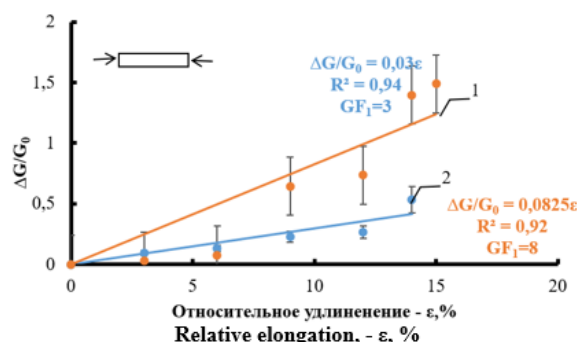


Рисунок 13. Изменение электропроводности лент композита при сокращении до 15%. Температура: 1 – 70 °C; 2 – 10 °C

Figure 13. Change in the electrical conductivity of composite tapes with a reduction of up to 15%. Temperature: 1 – 70 °C; 2 – 10 °C

На рисунках 10÷13 показано изменение электропроводности лент волокнистых композитов, в условиях нормальной влажности воздуха 45% и при температуре 70 и 10 °C. Видно, что при температуре воздуха 70 °C деформационная чувствительность (GF) при растяжении и сокращении возрастает в два-три раза. Особенно заметно увеличение чувствительности композитов к повышению температуры воздуха при циклической деформации менее 15%, при которой происходит распрямление нитей трикотажа.

Как известно [22] сопротивление проводников с металлическим типом электропроводности при нагревании увеличивается. Аналогичная зависимость от температуры электропроводности полимерных композитов дисперсно наполненных металлами и графитом установлены в работе [23].

Так как электрические свойства волокнистых композитов, определяются электропроводностью слоя дисперсии графита с политетрафторэтиленом, то правомерно ожидать снижение электропроводности при повышении температуры воздуха и ее повышение при охлаждении.

Из экспериментально полученных закономерностей изменения электропроводности волокнистых композитов при циклических деформациях, (рисунок 4–12) и сравнительной оценки вычисленных коэффициентов GF можно заключить, что трикотажное полотно с покрытием из дисперсии графита с ПТФЭ при растяжении и сокращении в горячем и сухом воздухе имеют значительно большую чувствительность к растяжению и сокращению чем во влажной и холодной атмосфере.

Для определения истинной тензочувствительности, т. е. характеристики зависимости электропроводности композита от механического напряжения [15] необходимо получить сведения о механических свойствах волокнистых композитов, т. е. иметь экспериментальные значения силы, возникающей в материале на стадиях растяжения и эластического сокращения. При механических испытаниях композита на растяжение можно достоверно измерить силу натяжения ленты известной ширины, а величину напряжения характеризовать условным значением нагрузки, так как точное значение толщины

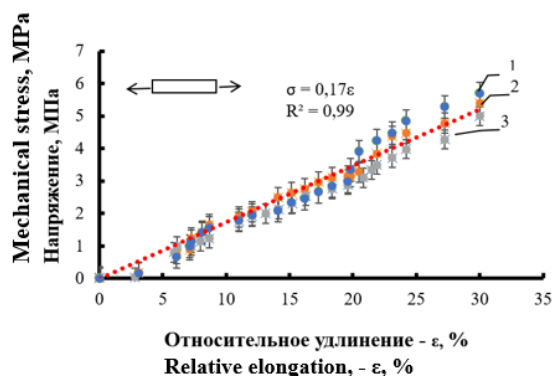


Рисунок 14. Диаграмма растяжения композитов: 1, 2, 3 – циклы деформации

Figure 14. Stretching diagram of composites: 1, 2, 3 – deformation cycles

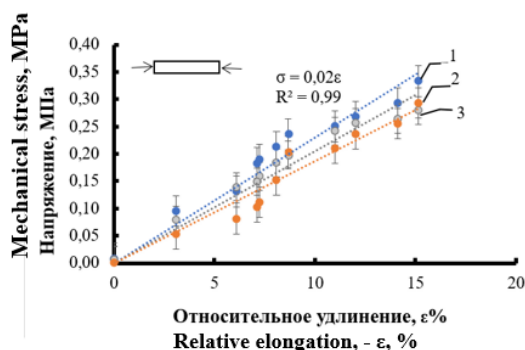


Рисунок 16. Диаграмма сокращения композитов при малых деформациях: 1, 2, 3 – циклы деформации

Figure 16. Diagram of the reduction of composites under small deformations: 1, 2, 3 – deformation cycles

По диаграммам растяжения видно, что механические свойства композитов на стадии удлинения могут быть охарактеризованы одной величиной условного модуля упругости (рисунок 14) – примерно 17 МПа. На стадии сокращения условный модуль упругости композита составляет 2 МПа, при деформации менее 15% и 30 МПа при больших удлинениях.

Тензочувствительность композита к механическому напряжению QF при деформации растяжения вычисляется по формуле:

$$QF = \frac{\Delta G / G_0}{\Delta \sigma}, [\text{Pa}^{-1}]$$

трикотажа определить невозможно. Функции условного напряжения (нагрузки) от относительного удлинения при циклическом деформировании композитов в процессах растяжения и сокращения качественно различны (рисунок 14 и 15).

При растяжении напряжение в композиционном материале монотонно увеличивается и может быть описано уравнением прямой линии с постоянным условным модулем упругости (рисунок 13). При сокращении изменения напряжения может быть описано двумя модулями, малым в диапазоне 0÷15% (рисунок 15) и большим (рисунок 14) в диапазоне свыше 15%.

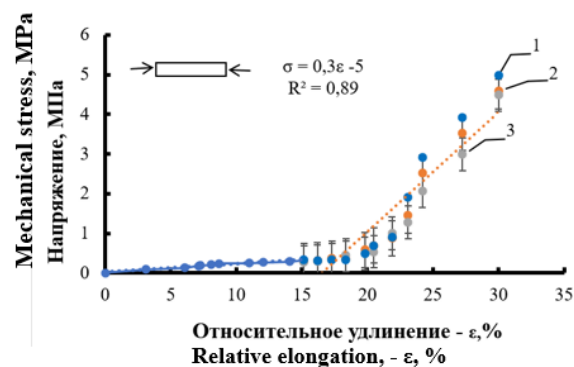


Рисунок 15. Диаграмма сокращения композитов: 1, 2, 3 – циклы деформации

Figure 15. Composite reduction diagram: 1, 2, 3 – deformation cycles

В таблицу 2 сведены результаты вычисления тензо- и деформационной чувствительности композитов на основе трикотажа при различной температуре и влажности.

Таблица 2.

Деформационная чувствительность (GF) и тензочувствительность (QF) композитов

Table 2.

Strain sensitivity (GF) and strain sensitivity (QF) of composites

Условия деформирования / Deformation conditions	Деформационная чувствительность / Deformation sensitivity GF		Тензочувствительность / Strain sensitivity QF, кПа ⁻¹	
	GF ₁	GF ₂	QF ₁	QF ₂
Растяжение в диапазоне относительной деформации, % / Stretching in the range of relative deformation, %				
Температура (°C) / Temperature (°C)	0÷15	15÷30	0÷15	15÷30
10±2	24±0,5	64±4	117±6	3764±7
70±3	7±1	130±5	411±6	7647±8
Влажность воздуха / Air humidity, %				
45±3	23±3	83±5	1353±6	4882±7
100	12±2	79±4	705±6	4647±7
Сокращение в диапазоне относительной деформации, % / Reduction in the range of relative deformation, %				
Температура (°C) / Temperature (°C)	15÷0	30÷15	15÷0	30÷15
10±1	3±0,8	54±4	1500±6	1800
70±1	8±1	103±5	4000±7	3433
Влажность воздуха / Air humidity, %				
45±3	24±3	117±5	12000±9	3900±7
100	15±2	75±4	7500±8	2500±7

На рисунке 17 показано изменение электропроводности композита на основе трикотажа при многократном растяжении. Видно, что первый цикл деформации имеет значительно большее изменение электропроводности при деформации до 30%, чем последующие циклы. Это различие имеет место как при растяжении, так и при сокращении. Второе и далее (до 100 раз) циклическое деформирование композита на основе трикотажа, покрытого графитом, не влияет на его структуру и свойства. Достигается устойчивое состояние композита со стабильно воспроизводимыми и идентичными значениями деформационной чувствительности (GF_1 и GF_2) и тензочувствительности (QF_1 , QF_2) во всем исследованном диапазоне удлинений.

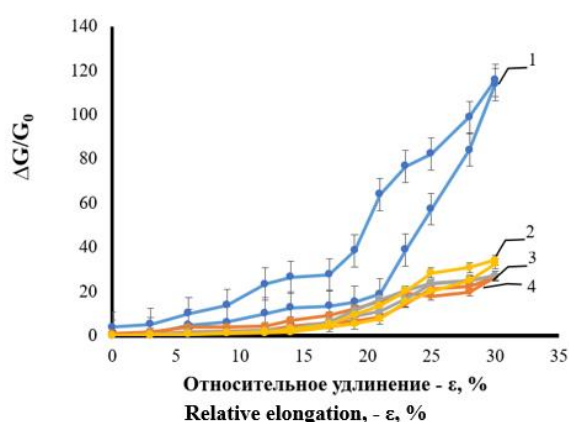


Рисунок 17. Изменение электропроводности композита при циклической деформации: 1, 2, 3, 4 – циклы

Figure 17. Change in the electrical conductivity of the composite during cyclic deformation: 1, 2, 3, 4 – cycles

Результаты испытаний, включающие первый цикл обратимой деформации трикотажа и 3 последующих цикла гистерезиса представлены в таблице 3.

Гистерезис (h) (таблица 3) рассчитан по формуле Симпсона [18] с вычислением интеграла функции изменения электропроводности от деформации:

$$h = \frac{\frac{\Delta G}{G}(\varepsilon \downarrow) d\varepsilon - \int_a^b \frac{\Delta G}{G}(\varepsilon \uparrow) d\varepsilon}{\int_a^b \frac{\Delta G}{G}(\varepsilon \downarrow) d\varepsilon} \times 100, \quad (1)$$

где, ε – относительная деформация, $\Delta G/G$ – изменение электропроводности, a , b – пределы изменения электропроводности $\Delta G/G$ при деформации $\varepsilon \uparrow$ – направление деформации (растяжение, сжатие)

Таблица 3.

Гистерезис электропроводности при циклических деформациях

Table 3.

Hysteresis of electrical conductivity under cyclic deformations

Номер цикла деформирования при измерении электропроводности / Number of the deformation cycle when measuring electrical conductivity	Гистерезис (h), % Hysteresis (h), %
1	$50 \pm 0,5$
2	$3,8 \pm 0,3$
3	$3,4 \pm 0,2$
4	$3,4 \pm 0,2$

Малый гистерезис становится особенно важным, когда композиты используются в качестве датчика циклической деформации динамической нагрузки, например, при изготовлении элементов носимой электроники. Превышение гистерезиса свыше 6% приводит к накоплению пластической деформации и необратимому снижению чувствительности композита к деформации и динамической нагрузке.

Заключение

Разработана технология изготовления и исследованы электромеханические свойства слоистых волокнистых композитов на основе трикотажа и дисперсии графита, предназначенных для изготовления датчиков деформации и напряжения, применяемых в «носимой электронике», в робототехнике и медицине. Установлена различная деформационная и тензочувствительность композитов в диапазонах малых и значительных растяжений, при различной температуре и влажности воздуха. Деформационная чувствительность достигает 130, а тензочувствительность 12 МПа^{-1} , что на порядок превышает чувствительность к напряжению известных полимерных композитов с различным электропроводящими наполнителями.

Температура и влажность влияют на электромеханические свойства эластичных волокнистых композитов с графитом. При растяжении до 15% калибровочный коэффициент GF снижается в 2 раза при 100% влажности.

Установлено различное влияние температуры воздуха в диапазоне $10^\circ \text{C} \div 70^\circ \text{C}$ на деформационную и тензочувствительность при циклическом деформировании до 15% и 30%. Наличие двух диапазонов деформационной чувствительности обусловлено различием механизмов удлинения трикотажа за счет распрямления и растяжения нитей.

Литература

- 1 Ryu H., Lee J.H., Khan U., Kwak S.S. et al. Sustainable direct current powering a triboelectric nanogenerator *via* a novel asymmetrical design // *Energy Environ. Sci.* 2018. V. 11. P. 2057–2063.
- 2 Monti M., Natali M., Petrucci R., Kenny J.M. et al. Impact damage sensing in glass fiber reinforced composites based on carbon nanotubes by electrical resistance measurements // *J. Appl Polym Sci.* 2011. V. 122. № 4. P. 2829–36.
- 3 Zhang H., Tao X.M., Yu T.X. Effects of Temperature, Relative Humidity and Washing Times on the Electrical Conductivity of Carbon-Coated Filaments // *Sensors and Actuators A.* 2005. V. 126. P. 803–807.
- 4 Zieba J., Frydrysiak M. Textronics System for Breathing Measurement // *Fibres & Textiles.* 2006. V. 14. P. 43–48.
- 5 Wilson S.A., Jourdain R.P.J., Zhang Q., Dorey R.A. et al. New materials for micro-scale sensors and actuators: an engineering review // *Mater Sci Eng R Rep.* 2007. V. 56. № 1–6. P. 1–129.
- 6 Huang Y., Tan G., Gou F., Li M. et al. Prospects and challenges of mini-LED and micro-LED displays. // *J. Soc. Inf. Disp.* 2019. V. 27. P. 387–401. doi:10.1002/jsid.760
- 7 Hu N., Karube Y., Yan C. Tunneling effect in a polymer/carbon nanotube nanocomposite strain sensor // *Acta Materialia.* 2008. V. 56. № 13. P. 2929–2936. doi:10.1016/j.actamat.2008.02.030
- 8 Chen Y., Pan F., Wang S., Liu B. et al. Theoretical estimation on the percolation threshold for polymer matrix composites with hybrid fillers. 2015. V. 124. P. 292–299. doi:10.1016/j.compstruct.2015.01.013
- 9 Mazaheri M., Payandehpeyman J., Jamasb S. Modeling of Effective Electrical Conductivity and Percolation Behavior in Conductive-Polymer Nanocomposites Reinforced with Spherical Carbon Black. // *Appl Compos Mater.* 2022. V. 29. P. 695–710. doi: 10.1007/s10443-021-09991
- 10 Knite M., Teteris V., Kiploka A., Kaupuzs J. Polyisoprene-carbon black nanocomposites as tensile strain and pressure sensor materials // *Sensor Actuat A.* 2004. V. 110. № 1–3. P. 142.
- 11 Kawabe H., Natsume Y., Higo Y. et al. Nondestructive evaluation of crazes and microcracks on polymers by the elastic-wave transfer function method // *Journal of materials science.* 1993. V. 28. P. 3197–3204. doi: 10.1007/BF00354236
- 12 Zou F.Y., Xu Y.H., Chen H., Ye L. Study on the Sensing Property of Carbon-Coated Filaments // *Advanced Materials Research.* 2011. V. 287. P. 2911–2915. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.287-290.2911
- 13 Yoshida A., Wang Y.F., Sekine T., Takeda Y. et al. Printed Low-Hysteresis Stretchable Strain Sensor Based on a Self-Segregating Conductive Composite // *ACS Appl. Eng. Mater.* 2022. V. 1. № 1. P. 50–58. doi:10.1021/acsaenm.2c00010
- 14 Larimi S.R., Nejad H.R., Oyatsi M., O'Brien A. et al. Low-cost ultra-stretchable strain sensors for monitoring human motion and bio-signals // *Sensors and Actuators A: Physical.* 2018. V. 271. P. 182–191. doi:10.1016/j.sna.2018.01.028
- 15 Tang J., Wu Y., Ma S., Yan T. et al. Sensing mechanism of a flexible strain sensor developed directly using electrospun composite nanofiber yarn with ternary carbon-based nanomaterials // *Journal Pre-proof.* 2022. V. 22. S2589–0042. doi: 10.1016/j.isci.2022.105162
- 16 Bose A., Zhang X., Maddipatla D. ScreenPrinted Strain Gauge for Micro-Strain Detection Applications // *IEEE Sensors Journal.* 2020. V. 20. № 21. P. 12652–12660. doi: 10.1109/JSEN.2020.3002388
- 17 Leseman Z.C. Design of a Microscale Optomechanical Load Cell for Micro-/Nanostructured Materials Testing Applications // *Arabian Journal for Science and Engineering.* 2022. V. 47. №. 1. P. 1053–1067. doi: 10.1007/s13369-021-06019-2
- 18 Mattmann C., Clemens F., Tröster G. Sensor for measuring strain in textile // *Sensors.* 2008. V. 8. №. 6. P. 3719–3732.
- 19 Hu Y. et al. A low-cost, printable, and stretchable strain sensor based on highly conductive elastic composites with tunable sensitivity for human motion monitoring // *Nano Research.* 2018. V. 11. P. 1938–1955.
- 20 Xiao X., Yuan L., Zhong J., Ding T. et al. High-strain sensors based on ZnO nanowire/polystyrene hybridized flexible films // *Advanced materials.* 2011. V. 23. №. 45. P. 5440–5444. doi: 10.1002/adma.201103406
- 21 Boyko E.V., Kostogrud I.A., Smovzh D.V. The dependence of the graphene electrical resistance on mechanical deformation // *Journal of Physics: Conference Series.* IOP Publishing, 2020. V. 1677. №. 1. P. 012125. doi: 10.1088/1742-6596/1677/1/012125
- 22 Butera R.A., Waldeck D.H. The dependence of resistance on temperature for metals, semiconductors, and superconductors // *Journal of chemical education.* 1997. V. 74. №. 9. P. 1090. doi: 10.1021/ed074p1090
- 23 Király A., Ronkay F. Temperature dependence of electrical properties in conductive polymer composites // *Polymer testing.* 2015. V. 43. P. 154–162. doi: 10.1016/j.polymertesting.2015.03.011

References

- 1 Ryu H., Lee J.H., Khan U., Kwak S.S. et al. Sustainable direct current powering a triboelectric nanogenerator *via* a novel asymmetrical design. *Energy Environ. Sci.* 2018. vol. 11. pp. 2057–2063.
- 2 Monti M., Natali M., Petrucci R., Kenny J.M. et al. Impact damage sensing in glass fiber reinforced composites based on carbon nanotubes by electrical resistance measurements. *J. Appl Polym Sci.* 2011. vol. 122. no. 4. pp. 2829–36.
- 3 Zhang H., Tao X.M., Yu T.X. Effects of Temperature, Relative Humidity and Washing Times on the Electrical Conductivity of Carbon-Coated Filaments. *Sensors and Actuators A.* 2005. vol. 126. pp. 803–807.
- 4 Zieba J., Frydrysiak M. Textronics System for Breathing Measurement. *Fibres & Textiles.* 2006. vol. 14. pp. 43–48.
- 5 Wilson S.A., Jourdain R.P.J., Zhang Q., Dorey R.A. et al. New materials for micro-scale sensors and actuators: an engineering review. *Mater Sci Eng R Rep.* 2007. vol. 56. no. 1–6. pp. 1–129.
- 6 Huang Y., Tan G., Gou F., Li M. et al. Prospects and challenges of mini-LED and micro-LED displays. *J. Soc. Inf. Disp.* 2019. vol. 27. pp. 387–401. doi:10.1002/jsid.760
- 7 Hu N., Karube Y., Yan C. Tunneling effect in a polymer/carbon nanotube nanocomposite strain sensor. *Acta Materialia.* 2008. vol. 56. no. 13. pp. 2929–2936. doi:10.1016/j.actamat.2008.02.030
- 8 Chen Y., Pan F., Wang S., Liu B. et al. Theoretical estimation on the percolation threshold for polymer matrix composites with hybrid fillers. 2015. vol. 124. pp. 292–299. doi:10.1016/j.compstruct.2015.01.013

- 9 Mazaheri M., Payandehpeyman J., Jamasb S. Modeling of Effective Electrical Conductivity and Percolation Behavior in Conductive-Polymer Nanocomposites Reinforced with Spherical Carbon Black. *Appl Compos Mater*. 2022. vol. 29. pp. 695–710. doi: 10.1007/s10443–021–09991
- 10 Knite M., Teteris V., Kiploka A., Kaupuzs J. Polyisoprene-carbon black nanocomposites as tensile strain and pressure sensor materials. *Sensor Actuat A*. 2004. vol. 110. no. 1–3. P. 142.
- 11 Kawabe H., Natsume Y., Higo Y. et al. Nondestructive evaluation of crazes and microcracks on polymers by the elastic-wave transfer function method. *Journal of materials science*. 1993. vol. 28. pp. 3197–3204. doi: 10.1007/BF00354236
- 12 Zou F.Y., Xu Y.H., Chen H., Ye L. Study on the Sensing Property of Carbon-Coated Filaments. *Advanced Materials Research*. 2011. vol. 287. pp. 2911–2915. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.287–290.2911
- 13 Yoshida A., Wang Y.F., Sekine T., Takeda Y. et al. Printed Low-Hysteresis Stretchable Strain Sensor Based on a Self-Segregating Conductive Composite. *ACS Appl. Eng. Mater*. 2022. vol. 1. no. 1. pp. 50–58. doi:10.1021/acsaenm.2c00010
- 14 Larimi S.R., Nejad H.R., Oyatsi M., O'Brien A. et al. Low-cost ultra-stretchable strain sensors for monitoring human motion and bio-signals. *Sensors and Actuators A: Physical*. 2018. vol. 271. pp. 182–191. doi:10.1016/j.sna.2018.01.028
- 15 Tang J., Wu Y., Ma S., Yan T. et al. Sensing mechanism of a flexible strain sensor developed directly using electrospun composite nanofiber yarn with ternary carbon-based nanomaterials. *Journal Pre-proof*. 2022. vol. 22. S2589–0042. doi: 10.1016/j.isci.2022.105162
- 16 Bose A., Zhang X., Maddipatla D. ScreenPrinted Strain Gauge for Micro-Strain Detection Applications. *IEEE Sensors Journal*. 2020. vol. 20. no. 21. pp. 12652–12660. doi: 10.1109/JSEN.2020.3002388
- 17 Leseman Z.C. Design of a Microscale Optomechanical Load Cell for Micro-/Nanostructured Materials Testing Applications. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2022. vol. 47. no. 1. pp. 1053–1067. doi: 10.1007/s13369–021–06019–2
- 18 Mattmann C., Clemens F., Tröster G. Sensor for measuring strain in textile. *Sensors*. 2008. vol. 8. no. 6. pp. 3719–3732.
- 19 Hu Y. et al. A low-cost, printable, and stretchable strain sensor based on highly conductive elastic composites with tunable sensitivity for human motion monitoring. *Nano Research*. 2018. vol. 11. pp. 1938–1955.
- 20 Xiao X., Yuan L., Zhong J., Ding T. et al. High-strain sensors based on ZnO nanowire/polystyrene hybridized flexible films. *Advanced materials*. 2011. vol. 23. no. 45. pp. 5440–5444. doi: 10.1002/adma.201103406
- 21 Boyko E.V., Kostogrud I.A., Smovzh D.V. The dependence of the graphene electrical resistance on mechanical deformation. *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing, 2020. vol. 1677. no. 1. pp. 012125. doi: 10.1088/1742–6596/1677/1/012125
- 22 Butera R.A., Waldeck D.H. The dependence of resistance on temperature for metals, semiconductors, and superconductors. *Journal of chemical education*. 1997. vol. 74. no. 9. pp. 1090. doi: 10.1021/ed074p1090
- 23 Király A., Ronkay F. Temperature dependence of electrical properties in conductive polymer composites. *Polymer testing*. 2015. vol. 43. pp. 154–162. doi: 10.1016/j.polymertesting.2015.03.011

Сведения об авторах

Анастасия В. Лоцицкая преподаватель, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия, belyashiko@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-6327-0484>
Александр Н. Утехин д.т.н., Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия, alu-tekhin@ya.ru
Александр П. Кондратов д.т.н., профессор, Московский политехнический университет, ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Россия, apkrezerv@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-6118-0808>

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Anastasia V. Lozitskaya lecturer, Moscow Polytechnic University, 38 Bolshaya Semenovskaya str., Moscow, 107023, Russia, belyashiko@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-6327-0484>
Alexander N. Utekhin Dr. Sci. (Engin.), Moscow Polytechnic University, 38 Bolshaya Semenovskaya str., Moscow, 107023, Russia, alu-tekhin@ya.ru
Alexander P. Kondratov Dr. Sci. (Engin.), professor, Moscow Polytechnic University, 38 Bolshaya Semenovskaya str., Moscow, 107023, Russia, apkrezerv@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-6118-0808>

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 13/04/2023	После редакции 15/05/2023	Принята в печать 02/06/2023
Received 13/04/2023	Accepted in revised 15/05/2023	Accepted 02/06/2023

Синтез и исследование композитных материалов на основе яблочного пектина и катионов меди

Элмаддин И. Мамедов ¹	elik.mam@mail.ru	 0009-0004-1375-1054
Владимир А. Кольцов ²	kolcov.mich@mail.ru	 0000-0002-2841-6126
Елена Н. Калмыкова ¹	veter1407@rambler.ru	

¹ Липецкий государственный технический университет, ул. Московская, 30, г. Липецк, 398055, Россия

² Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина, ул. Мичурина, 30, г. Мичуринск, 393774, Россия

Аннотация. В работе представлены результаты синтеза металлокомпозитных материалов на основе яблочного пектина и катионов двухвалентного металла – Cu^{2+} ; определения степени этерификации и содержания свободных карбоксильных групп исходного пектина методом кислотно-основного титрования, определения степени включения указанного катиона в полисахаридную макромолекулу методом ИК-спектроскопии, а также фунгицидной активности исходного пектина и медных комплексов в отношении *Penicillium sp.* По результатам титрования установлено, что яблочный пектин обладает высокой степенью этерификации ($\text{СЭ} = 50,7\%$) и низким содержанием карбоксильных групп ($\text{K}_c = 2,79\%$), что предполагает его низкую желеобразующую активность. Установлено, что увеличение концентрации соли выше $0,005 \text{ г-экв/л}$ приводит к снижению доли получающегося водорастворимого комплекса. Оптимальное значение концентрации $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, при которой образуется наибольшая масса водорастворимого комплекса, составляет $0,005 \text{ г-экв/л}$. По данным ИК-спектроскопии произведен расчет степени замещения катионов натрия на катионы меди, которая составила 18% . Показано, что исходный яблочный пектин не обладает фунгицидной активностью, в то время как медный комплекс на его основе способен подавлять рост культуры уже при действии 10 мкл вещества, а при увеличении объема до 50 мкл проявляется еще более активная фунгицидная активность медного комплекса.

Ключевые слова: пектин, металлокомплекс, степень замещения, ИК-спектроскопия, кислотно-основное титрование, противогрибковая активность.

Synthesis and study of composite materials based on apple pectin and copper cations

Elmaddin I. Mamedov ¹	elik.mam@mail.ru	 0009-0004-1375-1054
Vladimir A. Koltsov ²	kolcov.mich@mail.ru	 0000-0002-2841-6126
Elena N. Kalmykova ¹	veter1407@rambler.ru	

¹ Lipetsk State Technical University, Moscovskaya Av., 30, Lipetsk, 398055, Russia

² Federal Scientific Center. I.V. Michurin, Michurina Av., 30, Michurinsk, 393774, Russia

Abstract. The paper presents the results of synthesis the metal-composite materials based on apple pectin and divalent metal cations - Cu^{2+} ; determining the degree of esterification and the content of free carboxyl groups of the native pectin by acid-base titration, determining the degree of inclusion of the specified cation in the polysaccharide macromolecule and studying by IR spectroscopy and fungicidal activity of native pectin and copper complexes against *Penicillium sp.* According to the results of titration, it was found that apple pectin has a high degree of esterification ($\text{DE} = 50.7\%$) and a low content of carboxyl groups ($\text{K}_c = 2.79\%$), which suggests its low gelling activity. It was found that the increase in salt concentration is above 0.005 g-eq/l leads to a decrease in the proportion of the resulting water-soluble complex. The optimal concentration of $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, at which the largest mass of the water-soluble complex is formed, is 0.005 g-eq/l . According to IR spectroscopy, the degree of substitution of sodium cations for copper cations was calculated, which amounted to 18% . It was shown that the native apple pectin does not have fungicidal activity, while the copper complex based on it is able to suppress the growth of the culture already under the action of $10 \mu\text{l}$ of the substance, and with an increase in volume to $50 \mu\text{l}$, an even more active fungicidal activity of the copper complex appears.

Keywords: pectin, metal complex, degree of substitution, IR spectroscopy, acid-base titration, antifungal activity.

Введение

В настоящее время разработка композитных материалов на основе полисахаридов с различными органическими и неорганическими наполнителями привлекает активное внимание исследователей различных областей естествознания. Химическая модификация этих природных биополимеров позволяет получить производные с новыми физико-химическими и биологическими свойствами, что

значительно расширяет рамки их практического применения в пищевой и фармацевтической промышленности, косметологии и медицине [1, 2].

Известно, что пектины являются эффективными биосорбентами, способными очищать организм от радионуклидов, метаболитов (глюкозы, холестерина), токсикантов и прочих низкомолекулярных биологически активных веществ.

Для цитирования

Мамедов Э.И., Кольцов В.А., Калмыкова Е.Н. Синтез и исследование композитных материалов на основе яблочного пектина и катионов меди // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 2. С. 247–255. doi:10.20914/2310-1202-2023-2-247-255

For citation

Mamedov E.I., Koltsov V.A., Kalmykova E.N. Synthesis and study of composite materials based on apple pectin and copper cations. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 2. pp. 247–255. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-2-247-255

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

Наряду с указанными свойствами этому классу биополимеров свойственно проявление противоязвенной, ранозаживляющей, иммуномодулирующей, антиоксидантной и противомикробной активности [3].

Другим активно развивающимся в последнее время направлением является использование этого класса биополимеров в качестве средства адресной доставки лекарственных препаратов с пролонгированным действием, а также матрикса для создания композитных материалов с заданными свойствами. Одним из направлений модификации является получение металлокомплексов на основе пектинов, выделенных из различных природных источников, с включением различных катионов (Ag^+ , Ni^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} , Zn^{2+}).

За последние 20 лет получение металлокомплексов на основе пектинов привлекает внимание российских и зарубежных ученых. Основные области исследований направлены на поиск новых путей синтеза; изучение физико-химических и биологических свойств.

К настоящему времени установлено, что комплексообразование повышает терапевтическую активность лигандов, снижает их токсичность. Кроме того, авторы отмечают, что терапевтический эффект комплексов (например, иммунологическая активность, детоксицирующее и радиозащитное действие) значительно выше по сравнению с исходным пектином. В работах [4, 5] приводятся результаты серии исследований, посвященных изучению комплексообразования пектиновых полисахаридов с макро- и микроэлементами (Fe^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} , Ca^{2+} , Zn^{2+} и Mn^{2+}) с целью получения новых водорастворимых форм, обладающих различными физиологическими свойствами.

Так, выраженными противоанемическими свойствами характеризуются пектаты железа, повышающие уровень гемоглобина и количество эритроцитов в крови, а также способствующие интенсивному восстановлению гематологических показателей после кровопотери [5]. Среди полученных авторами соединений обнаружено, что некоторые пектиновые комплексы, содержащие ионы кобальта и никеля, проявляют антимикробную активность [6].

В работе [7] авторы сообщают о результатах синтеза комплексов на основе яблочного пектина различной степени этерификации с катионами меди. С помощью метода спектрофотометрии показано, что пектин образует с катионами меди комплексы состава 2:1. Методом ИК-спектроскопии установлено, что координационное взаимодействие пектинов с катионами Cu^{2+} происходит не только за счет карбоксильных

групп, но и гидроксильных групп пектиновой матрицы. Методом совмещенного термического анализа (термогравиметрия – дифференциальная сканирующая калориметрия) показана более высокая термическая стабильность пектиновых металлокомплексов по сравнению с исходным пектином.

В работе [8] представлены результаты синтеза комплексов на основе яблочного пектина и ионов серебра. При сопоставлении данных ИК-спектроскопии исходного и модифицированного пектина авторы отмечают незначительные различия между ними. Авторами указано, что полученные комплексы могут быть рекомендованы в качестве бактерицидного средства при лечении инфекционных заболеваний слизистых оболочек (носа, зева).

Среди других композитных материалов на основе пектинов в последние годы внимание исследователей привлекает катион Mg^{2+} [9]. Создание фармацевтических препаратов на основе полисахаридных комплексов магния расширяет перспективу их более широкого практического применения не только в качестве средств антистрессового действия, но и для лечения кардиологических заболеваний, а также регуляции метаболических процессов и активации ферментативных реакций. Общей особенностью этих препаратов является отсутствие побочных эффектов при приеме. В статье также предложен двустадийный способ получения металлокомплексов, обеспечивающих максимальный выход; дана оценка физико-химических свойств и иммуномодулирующей активности пектата магния. В статье также отмечается, что комплексы на основе пектата и пектината натрия являются источниками незаменимых макроминералов (магния и натрия) в биодоступной (водорастворимой) форме, которые оказывают стимулирующее воздействие на иммунную систему. Преимуществами этих соединений авторы указывают отсутствие ulcerогенного (раздражающего) воздействия на желудочно-кишечный тракт и хорошую растворимость в воде, что повышает активность их метаболизма.

В зарубежной литературе также имеются сведения о пектиновых металлокомплексах. Например, в статье [10] авторы сообщают о результатах синтеза комплексов на основе яблочного пектина и ионов железа (III), изучении физико-химических свойств и биологической активности. В работах [11–16] авторами приведены сведения о получении композитных материалов на основе пектинов с катионами серебра, меди, платины, палладия, селена и цинка и указана информация об их противовоспалительных, антиоксидантных и антимикробных свойствах.

Цель работы – получение водорастворимых комплексов с катионами меди на основе яблочного пектина, определение степени этерификации и содержания свободных карбоксильных групп исходного пектина методом кислотно-основного титрования, определение степени включения катионов меди в полисахаридную макромолекулу методом ИК-спектроскопии и исследование противогрибковой активности полученных комплексов.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования был выбран полисахарид растительного происхождения – яблочный пектин торговой марки «С. Пудовъ», Россия.

Основные реактивы, используемые в работе: гидроксид натрия NaOH 0,1 н.; медь сернокислая 5-водная ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), ч.; концентрированная соляная кислота (HCl), х.ч.; бромтимоловый синий ($\text{C}_{27}\text{H}_{28}\text{Br}_2\text{O}_5\text{S}$), 0,4%, ч.д.а.; красный крезол ($\text{C}_{21}\text{H}_{18}\text{O}_5\text{S}$) 0,4%, ч.д.а.; красного фенол ($\text{C}_{19}\text{H}_{14}\text{O}_5\text{S}_1$), 0,4%, ч.д.а.; этанол ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), 96%, х.ч.; глюкоза ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$), ч.; натрий азотнокислый (NaNO_3), ч.; калий фосфорнокислый однозамещенный (KH_2PO_4), ч.; магний сернокислый 7-водный ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), ч.; калий хлористый (KCl), ч.; вода дистиллированная; агар-агар.

Приборы и оборудование: аналитические весы Госметр ВЛ-210, магнитная мешалка с подогревом ММ-5, настольная центрифуга ЦЛН-2, ИК-Фурье спектрометр IRAffinity-1, термостат UT-4612.

Степень этерификации и содержание свободных карбоксильных групп исходного пектина определяли в соответствии с методикой в работе [17]. Метод основан на титриметрическом определении свободных и, после омыления, этерифицированных карбоксильных групп полигалактуроновой кислоты в выделенном пектине. Исходный пектин растворяли в дистиллированной воде. Для лучшего растворения пектин можно смочить этиловым спиртом. Отбирали часть от общего объема и нагревали до 40 °С. Колбу плотно закрывали и взбалтывали до полного растворения пектина. Пробу титровали раствором NaOH (0,1 Н) в присутствии смешанного индикатора Хинтона. В раствор добавляли 6 капель индикатора и титровали до тех пор, пока, не появилось темно-розовое окрашивание, которое не исчезало в течение 1 минуты. Учитывали объем израсходованного раствора NaOH, приливали 50 мл того же раствора NaOH, закрывали колбу и оставляли на 3 ч для омыления этерифицированных карбоксильных групп. После в раствор добавляли

50 мл раствора соляной кислоты HCl и вновь оттитровывали раствором NaOH.

Степень этерификации СЭ, %, пектина вычисляли по формуле (1):

$$\text{СЭ} = \frac{V_2}{V_1 + V_2} \cdot 100\% \quad (1)$$

где V_1 – объем раствора гидроксида натрия 0,1 Н, используемого на первое титрование, мл; V_2 – объем раствора гидроксида натрия 0,1 Н, используемого на второе титрование, мл.

Содержание свободных карбоксильных групп K_c , %, определяли по формуле (2):

$$K_c = \frac{V_1 \cdot 0,45}{p} \quad (2)$$

где V_1 – объем 0,1 Н раствора гидроксида натрия, используемого на первое титрование, мл; p – навеска пектина, г.

Синтез пектиновых металлокомплексов осуществляли по методике, предложенной авторами в работе [18]. Навеску пектина (0,6 г) растворяли в 30 мл воды для получения 2%-ного раствора и перемешивали в течение 2-х часов на магнитной мешалке при температуре 55–60 °С. Далее в перемешиваемую суспензию добавляли 0,1 н. раствор NaOH до pH = 9 и перемешивали 2 часа для получения пектата натрия. Затем добавляли водный раствор соли двухвалентного металла ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) и оставляли перемешивать 30 минут. Далее целевой продукт осаждали двукратным объемом этанола, центрифугировали и сушили.

ИК-спектры полученных комплексов регистрировали с помощью ИК-Фурье спектрометра IRAffinity-1 в диапазоне длин волн 4000–400 cm^{-1} . Для снятия ИК-спектров в виде тонких пленок пробы высушивали непосредственно на монокристалле кремния в сушильном шкафу при 50 °С. Затем пластинку кремния с нанесенным образцом помещали в прибор и регистрировали полученный спектр.

Расчет степени замещения катионов натрия на катионы меди в медных комплексах осуществлялся по ИК-спектрам пектата натрия и целевых комплексов по отношению интенсивностей полос пропускания карбоксианиона (COO^-) в спектре пектата натрия в области 1604 cm^{-1} , и в спектре медного комплекса в области 1603 cm^{-1} по формуле (3):

$$\text{СЗ} = \left(1 - \frac{B}{A}\right) \cdot 100\% \quad (3)$$

где B – интенсивность полосы пропускания карбоксианиона в металлокомплексе; A – интенсивность полосы пропускания карбоксианиона в пектате натрия.

Противогрибковый эффект исходного пектина и пектиновых комплексов с катионами меди определяли с использованием грибковой культуры *Penicillium sp.*, полученной в биологической лаборатории отдела токсикологии и микологии ОГБУ «Липецкая областная ветеринарная лаборатория», г. Липецк.

Для приготовления питательной среды брали 20–30 г. сухого порошка агара Чапека, заливали его 1000 мл водопроводной воды и вымачивали 2 ч при комнатной температуре. Воду сливали и измеряют ее объем для определения количества воды, впитавшейся агаром. Затем агар промывают 2–3 раза дистиллированной водой. Взвешивают остальные компоненты среды и растворяют их в таком объеме дистиллированной воды, который составляла слитая при вымачивании агара. К полученному раствору добавляют отмытый агар-агар, после чего варят среду в автоклаве текучим паром в течение 1 ч. Полученную среду фильтровали, разливали по колбам и стерилизовали в автоклаве при

давлении 0,05 МПа в течение 20 мин; pH питательной среды составлял в пределах 6,0–6,8.

Выращивание микроорганизмов осуществляли путем помещения в центр чашки Петри с агаровым гелем образец тонкого среза предварительно выращенной грибковой культуры размером 2 х 2 мм и выдерживали в термостате при 37 °С в течение 3÷4 суток.

В качестве фунгицидных препаратов использовали исходный и модифицированный полисахарид. Растворы ингибиторов готовили по вышеописанной методике, но с использованием 5% концентрации пектина. Объем пробы раствора ингибитора варьировали в диапазоне 10÷50 мкл. Ингибирующий эффект регистрировали через 3÷7 дней.

Результаты и обсуждение

Из литературных данных известно, что структура повторяющегося звена яблочного пектина представляет собой рамногалактуронан с чередующимися 1,2 и 1,4 связями, рисунок 1 [19].



Рисунок 1. Химическая структура яблочного пектина
Figure 1. Chemical structure of apple pectin

Информация о наличии эфирных групп в яблочном пектине носит разноречивый характер в литературных источниках указываются значения 10, 34 и 66% [7], поэтому нами было проведено титриметрическое определение свободных карбоксильных и ОМе-групп. Процесс титрования включает использование титранта NaOH и смешанного индикатора Хинтона, который меняет свой цвет на темно-розовый вблизи точки эквивалентности. Для исследования брали растворы полисахаридов одинаковой концентрации. На первом этапе титрования раствором NaOH определяется количество свободных карбоксильных групп. На втором этапе обработкой избытком той же щелочи осуществляется снятие эфирных групп и увеличение количества карбоксильных групп. Далее добавляли соляную кислоту с целью нейтрализации щелочи, вызывающей омыление эфирных групп. Для проведения расчетов брали среднее значение объема раствора щелочи – NaOH, который пошел на каждый этап титрования. По формуле (1) рассчитана степень этерификации пектиновых веществ, которая составила 50,7% ($V_1 = 6,2$ мл, $V_2 = 6,4$ мл). Полученные на первой стадии титрования (значение объема титранта V_1), используют для расчета определения содержания карбоксильных групп в соответствии с формулой (2), которое составило 2,79% ($V_1 = 6,2$ мл, $p = 1$ г).

По результатам титрования установлено, что яблочный пектин обладает высокой степенью этерификации ($CЭ = 50,7\%$) и низким содержанием карбоксильных групп ($K_c = 2,79\%$), что предполагает его низкую желирующую активность.

Существует разные способы получения пектиновых металлокомплексов [4–7]. Ранее было показано [20], что при низкой степени этерификации свободные COOH-группы конформационно сближаются, что приводит к повышению линейной плотности заряда макромолекулы и, следовательно, к возрастанию силы взаимодействия с катионами металлов. Наличие эфирных групп препятствует такому сближению, поэтому уменьшает степень включения катионов в пектиновый комплекс. В этой связи авторами был предложен двухстадийный способ получения металлокомплексов, который включал стадию щелочного гидролиза полисахарида для удаления ОМе-групп галактуроновых звеньев с последующим образованием пектата натрия.

Важным фактором, который учитывался при синтезе пектиновых металлокомплексов, является температура [18]. Нами было также исследовано влияние температуры в диапазоне 25 ÷ 60 °С на эффективность деэтерификации яблочного пектина. Методом кислотно-основного титрования подтверждено отсутствие ОМе-групп после обработки щелочью при 60 °С.

Действие щелочи при комнатной температуре обеспечивает лишь частичную деэтерификацию пектиновой макромолекулы, не превышающую 30%, что, соответственно,

приводит к снижению степени включения катионов двухвалентных металлов в полисахаридную цепь, рисунок 2.

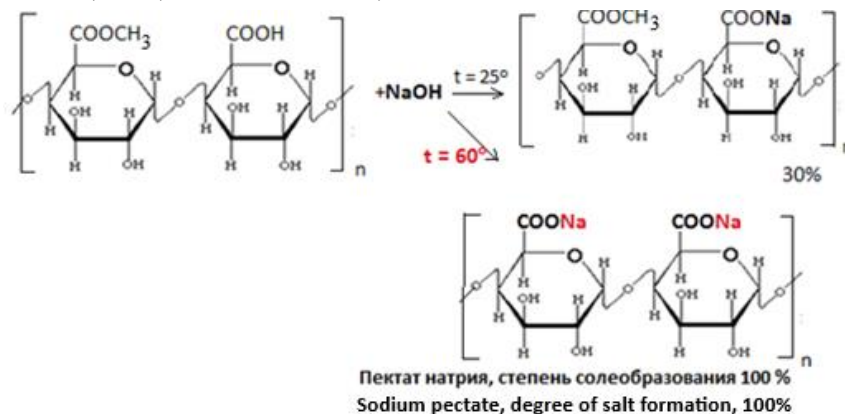


Рисунок 2. Образование частично или полностью деэтерифицированного пектата натрия
Figure 2. Formation of partially or fully de-esterified sodium pectate

В литературных источниках содержатся сведения о значительно более высокой степени усвояемости биогенных элементов (например, цинка [21, 22]) в организме в виде хелатных комплексов на основе белков по сравнению с раствором неорганической соли при той же концентрации катиона металла.

Полисахариды, имеющие большое число полярных гидроксильных, карбоксильных и метоксильных групп, характеризуются достаточно сложной системой водородных связей, поэтому они также могут использоваться в качестве матрицы для образования хелатных комплексов, рисунок 3.

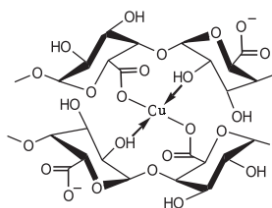


Рисунок 3. Схема металлокомплекса
Figure 3. Scheme of the metal complex

Следующим этапом получения биоккомплексов меди была обработка полигалактуроната натрия водным раствором сульфата меди. При этом могут образовываться как водорастворимые комплексы, так и нерастворимые (гели). Необходимость получения водорастворимых комплексов обусловлена их более высокой биологической активностью в метаболических реакциях, поэтому исследовано влияние концентрации соли (в диапазоне 0,0025 ÷ 0,015 г.-экв/л)

на получение биоусвояемых комплексов. Каждый образец, представляющего собой смесь различных по растворимости комплексов, осаждали концентрированным этанолом, гелевую фракцию удаляли центрифугированием и определяли массу растворимого продукта после гравиметрическим методом. График зависимости выхода водорастворимого комплекса от концентрации представлен на рисунке 4.

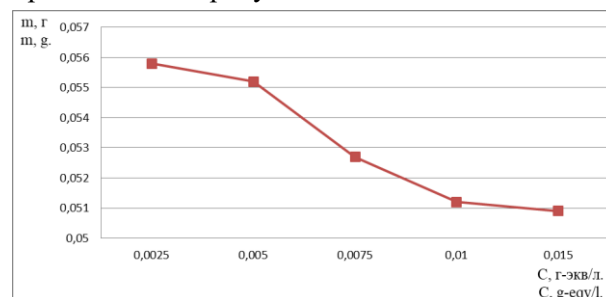


Рисунок 4. Зависимость выхода водорастворимых пектиновых металлокомплексов от концентрации сульфата меди

Figure 4. Dependence of the yield of water-soluble pectin metal complexes on the concentration of copper sulfate

Установлено, что увеличение концентрации соли выше 0,005 г.-экв/л. приводит к снижению доли получающегося водорастворимого комплекса. Оптимальное значение концентрации $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, при которой образуется наибольшая масса водорастворимого комплекса, составляет 0,005 г.-экв/л (выход металлокомплекса = 87%).

В таблице 1 представлены основные характеристические частоты сигналов ИК-спектров яблочного пектина, пектата натрия и пектинового комплекса с катионами Cu^{2+} .

Таблица 1.

Основные характеристические частоты ИК спектров (в см^{-1}) яблочного пектина, пектата натрия и пектинового комплекса с катионами Cu^{2+}

Table 1.

Main characteristic frequencies of IR spectra (см^{-1}) of apple pectin, sodium pectate and pectin complex with Cu^{2+} cations

Типы колебаний Type of vibrations	Яблочный пектин Apple pectin	Пектат натрия Sodium pectate	ПГNaCu PGNaCu
$\nu(\text{OH})_{\text{C}}, \nu(\text{H}_2\text{O})$	3385	3372	3370
$\nu(\text{CH})_{\text{E}}, \nu(\text{CH})_{\text{K}}$	2932	2928	2928
$\nu(\text{C}=\text{O})_{\text{E}}, \nu(\text{C}=\text{O})_{\text{A}}$	1744	—	—
$\nu(\text{COO}-)$	—	1604	1603
$\delta(\text{H}_2\text{O})$	1627	—	—
$\nu, \delta(\text{C-OH})_{\text{A}}$	—	1412	1414
$\delta_{\text{s}}(\text{CH}_3)_{\text{E}}$	1424	—	—
$\delta(\text{CH}_3)_{\text{K}}$	1317	1323	1325
$\nu(\text{C-O-C})$	—	—	1136
$\nu(\text{C-C})(\text{C-O})_{\text{K}}$	1099, 1010	1117, 1005	1001
Пульсационные колебания пиранозных колец Pulsating vibrations of pyranose rings	836, 729, 624, 572, 522	820, 754, 633, 525	820, 756, 633, 527

Во всех спектрах обнаружены сигналы функциональных групп $\nu(\text{OH})_{\text{C}}$ (3385 см^{-1}), $\nu(\text{CH})_{\text{E}}$ и $\nu(\text{CH})_{\text{K}}$ (2932 см^{-1}), $\nu(\text{C}=\text{O})_{\text{E}}$ и $\nu(\text{C}=\text{O})_{\text{A}}$ (1744 см^{-1}), пиранозный цикл ($836, 729, 624, 572, 522 \text{ см}^{-1}$), характерные для пектина.

Контроль за эффективностью включения катионов Cu^{2+} проводили также методом ИК-спектроскопии, (рисунок 5). В ИК спектре пектата натрия исчезновение сигнала при 1744 см^{-1}

(валентные колебания карбониллов карбоксильных и сложноэфирных групп) свидетельствует о замещении протонов H^+ и сложноэфирных групп на ионы Na^+ . Усиление интенсивности полосы пропускания карбоксианиона в области 1604 см^{-1} свидетельствует об образовании солевой формы пектина. Следовательно, в результате синтеза получается комплекс состава: пектат-натрий-медь (ПГNaCu).

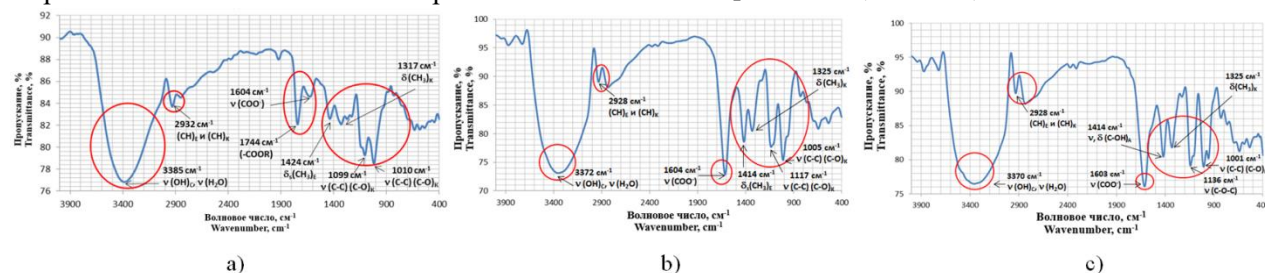


Рисунок 5. ИК-спектры: а) исходный пектин, б) пектат натрия, с) пектат-медный комплекс

Figure 5. IR spectra: a) native pectin, b) sodium pectate, c) pectate-copper complex

На рисунке 5 (с) представлен ИК-спектр комплекса ПГNaCu, который отличается не только от исходного пектина, но и от пектата натрия.

Смещение валентных колебаний гидроксильных групп пектина ($3600\text{--}3200 \text{ см}^{-1}$) в низкочастотную область на $12\text{--}15 \text{ см}^{-1}$ указывает на разрыв или ослабление водородных связей в результате образования координационных связей катионов металла с гидроксильными группами моносахаридов, рисунок 3. В области $1119\text{--}1136 \text{ см}^{-1}$ наблюдается смещение полосы пропускания валентных колебаний пиранозного цикла (C-O) на $1\text{--}17 \text{ см}^{-1}$, что обусловлено связыванием ионов металлов с кислородным атомом гидроксидов, что коррелирует с ранее опубликованными данными [7, 9]. Снижение интенсивности полосы пропускания при 1603 см^{-1} (сигнал карбоксильных групп) свидетельствует о замещении

ионов натрия катионами меди. Расчет степени замещения (СЗ) осуществлялся по формуле (3) и составил 18%.

Противогрибковую активность исследовали с использованием аэробной грибковой культуры рода *Penicillium*, вызывающей поражение кожи и паху носа. Характеристику противогрибкового действия полисахаридных препаратов осуществляли по регистрации ингибирования роста грибковых культур при действии на них водных растворов исходного пектина и медного комплекса. Для ингибирования использовали водные 3% растворы различных объемов (10 и 50 мкл), которые наносили в чашку Петри на поверхность свежесформированных колоний грибковой культуры. При этом установлено, что добавление 50 мкл раствора комплекса оказывает более выраженный ингибирующий эффект, рисунок 6.

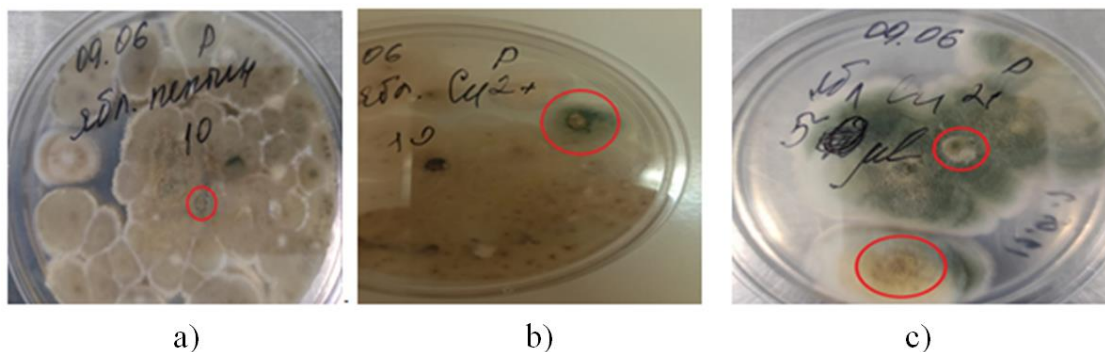


Рисунок 6. Ингибирование исходным пектином и пектиновым комплексом роста грибковой культуры *Penicillium sp.*: а) исходный пектин, б) медный комплекс 10 мкл., с) медный комплекс 50 мкл

Figure 6. Inhibition of growth of fungal culture *Penicillium sp.* by the native pectin and the pectin complex: a) native pectin, b) pectate-copper complex 10 µl, c) pectate-copper complex 50 µl

С каждым образцом эксперимент проводили в 3-х повторях. Посевы выдерживали от 3 до 7 суток при температуре 25 °С. За положительный противогрибковый результат принималась концентрация препарата в среде, при которой отсутствовал видимый рост культуры.

Исходный яблочный пектин не показал противогрибковой активности (рисунок 6а), о чем свидетельствует отсутствие ореола распространения капли нанесенного раствора на поверхность грибковой культуры.

Медный комплекс продемонстрировал подавление роста грибов уже при нанесении 10 мкл препарата, что подтверждается образованием четкого ореола по границе диффузии раствора медного комплекса (рисунок 6б). Увеличение объема ингибитора (две точки по 50 мкл, рисунок 6с) демонстрирует более активное угнетение роста *Penicillium sp.*, на что указывает не только присутствие ореола нанесенной капли, но и изменение цвета внутри зоны задержки роста, а также увеличение диаметра зоны в 1,5–2 раза.

Заключение

В ходе выполненной работы получены металлокомплексы на основе яблочного пектина и катионов меди с выходом 87%.

Методом кислотно-основного титрования определена степень этерификации ($CЭ = 65,5\%$) и содержание свободных карбоксильных групп яблочного пектина $K_c = 2,61\%$.

Установлено, что оптимальная концентрация сульфата меди для получения водорастворимых комплексов составляет $C_n = 0,005$ г.-экв/л.

Метод ИК-спектроскопии позволил подтвердить включение катионов натрия по смещению и изменению интенсивности сигналов исходного пектина. Методом ИК-спектроскопии определена степень замещения катионов натрия на катионы меди ($CЗ = 18\%$).

При исследовании противогрибковой активности определен оптимальный объем раствора металлокомплекса (50 мкл), необходимый для регистрации ингибирующей активности грибковой культуры *Penicillium sp.* Показано, что исходный яблочный пектин не обладает фунгицидной активностью, в то время как медный комплекс на его основе способен подавлять рост культуры уже при действии 10 мкл, а при увеличении его объема до 50 мкл происходит не только расширение зоны воздействия ингибитора в 1,5–2 раза, но и изменение цвета внутри диска задержки роста, что может указывать на гибель грибковых гифов.

Полученные результаты открывают перспективу практического применения пектиновых комплексов с ионами меди для создания противогрибковых мазей, гелей, пластырей с пролонгированным антимикробным действием.

Благодарности

Авторы выражают благодарность директору и сотрудникам отдела токсикологии и микологии ОГБУ «Липецкая областная ветеринарная лаборатория» за предоставленную возможность проведения микробиологических исследований.

Литература

- 1 Bush P.L. Pectin: Chemical Properties, Uses and Health Benefits. New York: Nova Science Publishers, 2014. 268 p.
- 2 Kuzmann E., Garg V., Oliveira A., Klencsár Z. et al. Mössbauer study of the effect of pH on Fe valence in iron-polygalacturonate as a medicine for human anaemia // Radiation Physics and Chemistry. 2015. V. 107. P. 195–198.
- 3 Lara-Espinoza C., Carvajal-Millán E., Balandrán-Quintana R., López-Franco Y. et al. Pectin and Pectin-Based Composite Materials: Beyond Food Texture // Molecules. 2018. V. 23. P. 942.

- 4 Minzanova S.T., Mironov V.F., Vyshtakalyuk A.B., Tsepaeva O.V. et al. Complexation of pectin with macro – and microelements. Antianemic activity of Na, Fe and Na, Ca, Fe complexes // *Carbohydrate Polymers*. 2015. V. 134. P. 524–533.
- 5 Minzanova S.T., Mironov V.F., Mironova L.G., Nemtarev A.V. et al. Synthesis, properties, and antianemic activity of new metal complexes of sodium pectinate with iron and calcium // *Russian Chemical Bulletin*. 2019. V. 68. № 1. P. 48–54.
- 6 Minzanova S.T., Mironov V.F., Mironova L.G., Nizameev I.R. et al. Synthesis, properties, and antimicrobial activity of pectin complexes with cobalt and nickel // *Chemistry of Natural Compounds*. 2016. V. 52. P. 26–31.
- 7 Мударисова Р.Х., Куковинец О.С., Колесов С.В., Глазырин А.Б. Металлокомплексы низкометоксилированных пектинов с ионами меди(II) // *Вестник Башкирского университета*. 2021. Т. 26. № 1. С. 40–46.
- 8 Михеева Л.А., Тры А.В. Выделение пектина из растительного сырья и изучение его некоторых химических свойств // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация*. 2013. № 2. С. 53–56.
- 9 Minzanova S.T., Mironov V.F., Khabibullina A.V., Arkhipova D.M. et al. New metal complexes of citrus pectin with magnesium ions: synthesis, properties, and immunomodulatory activity // *Russian Chemical Bulletin, International Edition*. 2021. V. 70. № 3. P. 433–443.
- 10 Xuemei M., Jing J., Yu J., Wang J. et al. Synthesis and Characterization of a Novel Apple Pectin–Fe(III) Complex // *ACS Omega*. 2021. V. 1. № 2. P. 1391–1399.
- 11 Nemiwal M., Zhang T., Kumar D. Pectin modified metal nanoparticles and their application in property modification of biosensors // *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*. 2021. V. 2. P. 100164.
- 12 Al-Muhanna M.K.A., Hileuskaya K.S., Kulikouskaya V.I., Kraskouski A.N. et al. Preparation of stable sols of silver nanoparticles in aqueous pectin solutions and properties of the sols // *Colloid Journal*. 2015. V. 77. №. 6. P. 683–690.
- 13 Venkatakrishnan S., Veerappan G., Elamparuthi E., Veerappan A. Aerobic synthesis of biocompatible copper nanoparticles: promising antibacterial agent and catalyst for nitroaromatic reduction and C–N cross coupling reaction // *RSC Advances*. 2014. V. 4. № 29. P. 15003–15006.
- 14 Baran T. Pd(0) nanocatalyst stabilized on a novel agar/pectin composite and its catalytic activity in the synthesis of biphenyl compounds by Suzuki-Miyaura cross coupling reaction and reduction of o-nitroaniline // *Carbohydrate Polymers*. 2018. V. 195. P. 45–52.
- 15 Qiu W.Y., Wang Y.Y., Wang M., Yan, J.K. Construction, stability, and enhanced antioxidant activity of pectin-decorated selenium nanoparticles // *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 2018. V. 170. P. 692–700.
- 16 Pomwilard M.-M., Somchue W., Shiowatana J., Siripinyanond A. Flow field-flow fractionation for particle size characterization of selenium nanoparticles incubated in gastrointestinal conditions // *Food Research International*. 2014. V. 57. P. 203–209.
- 17 Клебанова Н.А., Тарасова А.В., Седакова В.А., Клебанов А.В. Титриметрическое определение карбоксильных групп продуктов ферментации высоко- и низкоэтерифицированных пектинов // *Проблемы устойчивого развития регионов Республики Беларусь и сопредельных стран: сборник научных статей XI Международной научно-практической интернет-конференции*. Могилев, 2022. С. 5–8.
- 18 Минзанова С.Т., Архипова Д.М., Хабибуллина А.В., Миронова Л.Г. и др. Получение новых металлокомплексов пектината натрия с ионами кобальта и никеля и их антимикробная активность // *Доклады академии наук*. 2019. Т. 487. № 5. С. 511–514.
- 19 Wu X., Mort A. Structure of a Rhamnogalacturonan Fragment from Apple Pectin: Implications for Pectin Architecture // *International Journal of Carbohydrate Chemistry*. 2014. P. 1–6.
- 20 Миронов В.Ф., Карасева А.Н., Цепяева О.В., Выштакалюк А.Б. и др. Некоторые новые аспекты комплексообразования пектиновых полисахаридов с катионами d-металлов // *Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские сообщения*. 2003. № 3. С. 45–50.
- 21 Gupta M., Mahajan V., Mehta K., Chauhan P. Zinc Therapy in Dermatology: A Review // *Dermatology Research and Practice*. 2014. P. 1–12.
- 22 Миронов В.Ф., Карасева А.Н., Выштакалюк А.Б., Минзанова С.Т. и др. Водорастворимые цинк- и никельсодержащие металлокомплексы пектиновых полисахаридов. Биологическая активность цинковых металлокомплексов // *Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские сообщения*. 2004. Т. 5. № 3. С. 36–38.

References

- 1 Bush P.L. Pectin: Chemical Properties, Uses and Health Benefits. New York, Nova Science Publishers, 2014. pp 268.
- 2 Kuzmann E., Garg V., Oliveira A., Klencsár Z. et al. Mössbauer study of the effect of pH on Fe valence in iron-polygalacturonate as a medicine for human anaemia. *Radiation Physics and Chemistry*. 2015. vol. 107. pp. 195–198.
- 3 Lara-Espinoza C., Carvajal-Millán E., Balandrán-Quintana R., López-Franco Y. et al. Pectin and Pectin-Based Composite Materials: Beyond Food Texture. *Molecules*. 2018. vol. 23. pp. 942.
- 4 Minzanova S.T., Mironov V.F., Vyshtakalyuk A.B., Tsepaeva O.V. et al. Complexation of pectin with macro – and microelements. Antianemic activity of Na, Fe and Na, Ca, Fe complexes. *Carbohydrate Polymers*. 2015. vol. 134. pp. 524–533.
- 5 Minzanova S.T., Mironov V.F., Mironova L.G., Nemtarev A.V. et al. Synthesis, properties, and antianemic activity of new metal complexes of sodium pectinate with iron and calcium. *Russian Chemical Bulletin*. 2019. vol. 68. no 1. pp. 48–54.
- 6 Minzanova S.T., Mironov V.F., Mironova L.G., Nizameev I.R. et al. Synthesis, properties, and antimicrobial activity of pectin complexes with cobalt and nickel. *Chemistry of Natural Compounds*. 2016. vol. 52. pp. 26–31.
- 7 Мударисова Р.Х., Куковинets О.С., Колесов С.В., Глазырин А.Б. Metal complexes of low-methoxylated pectins with copper(II) ions. *Bulletin of the Bashkir University*. 2021. vol. 26. no. 1. pp. 40–46. (in Russian).
- 8 Mikheeva L.A., Try A.V. Isolation of pectin from vegetable raw materials and the study of some of its chemical properties. *Bulletin of the Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*. 2013. no. 2. pp. 53–56. (in Russian).
- 9 Minzanova S.T., Mironov V.F., Khabibullina A.V., Arkhipova D.M. et al. New metal complexes of citrus pectin with magnesium ions: synthesis, properties, and immunomodulatory activity. *Russian Chemical Bulletin, International Edition*. 2021. vol. 70. no 3. pp. 433–443.

- 10 Xuemei M., Jing J., Yu J., Wang J. et al. Synthesis and Characterization of a Novel Apple Pectin–Fe(III) Complex. *ACS Omega*. 2021. vol. 1. no. 2. pp. 1391–1399.
- 11 Nemiwal M., Zhang T., Kumar D. Pectin modified metal nanoparticles and their application in property modification of biosensors. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*. 2021. vol. 2. pp. 100164.
- 12 Al-Muhanna M.K.A., Hileuskaya K.S., Kulikouskaya V.I., Kraskouski A.N. et al. Preparation of stable sols of silver nanoparticles in aqueous pectin solutions and properties of the sols. *Colloid Journal*. 2015. vol. 77. no. 6. pp. 683–690.
- 13 Venkatakrishnan S., Veerappan G., Elamparuthi E., Veerappan A. Aerobic synthesis of biocompatible copper nanoparticles: promising antibacterial agent and catalyst for nitroaromatic reduction and C–N cross coupling reaction. *RSC Advances*. 2014. vol. 4. no. 29. pp. 15003–15006.
- 14 Baran T. Pd(0) nanocatalyst stabilized on a novel agar/pectin composite and its catalytic activity in the synthesis of biphenyl compounds by Suzuki-Miyaura cross coupling reaction and reduction of o-nitroaniline. *Carbohydrate Polymers*. 2018. vol. 195. pp. 45–52.
- 15 Qiu W.Y., Wang Y.Y., Wang M., Yan J.K. Construction, stability, and enhanced antioxidant activity of pectin-decorated selenium nanoparticles. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 2018. vol. 170. pp. 692–700.
- 16 Pomwilard M.-M., Somchue W., Shiowatana J., Siripinyanond A. Flow field-flow fractionation for particle size characterization of selenium nanoparticles incubated in gastrointestinal conditions. *Food Research International*. 2014. vol. 57. pp. 203–209.
- 17 Klebanova N.A., Tarasova A.V., Sedakova V.A., Klebanov A.V. Titrimetric determination of carboxyl groups of fermentation products of high – and low-esterified pectins. Problems of sustainable development of regions of the Republic of Belarus and neighboring countries: collection of scientific articles of the XI International Scientific and Practical Internet Conference. Mogilev. 2022. pp. 5–8. (in Russian).
- 18 Minzanova S.T., Arkhipova D.M., Khabibullina A.V., Mironova L.G. et al. Preparation of new metal complexes of sodium pectinate with cobalt and nickel ions and their antimicrobial activity. *Reports of the Academy of Sciences*. 2019. vol. 487. no. 5. pp. 511–514. (in Russian).
- 19 Wu X., Mort A. Structure of a Rhamnogalacturonan Fragment from Apple Pectin: Implications for Pectin Architecture. *International Journal of Carbohydrate Chemistry*. 2014. pp. 1–6.
- 20 Mironov V.F., Karaseva A.N., Tsepaeva O.V., Vyshtakalyuk A.B. et al. Some new aspects of complex formation of pectin polysaccharides with d-metal cations. *Chemistry and Computer Modeling. Butler messages*. 2003. no. 3. pp. 45–50. (in Russian).
- 21 Gupta M., Mahajan V., Mehta K., Chauhan P. Zinc Therapy in Dermatology: A Review. *Dermatology Research and Practice*. 2014. pp. 1–12.
- 22 Mironov V.F., Karaseva A.N., Vyshtakalyuk A.B., Minzanova S.T. et al. Water-soluble zinc – and nickel-containing metal complexes of pectin polysaccharides. Biological activity of zinc metal complexes. *Chemistry and computer modeling. Butler messages*. 2004. vol. 5. no. 3. pp. 36–38. (in Russian).

Сведения об авторах

Элмaddin И. Мамедов аспирант, кафедра физического металловедения, Липецкий государственный технический университет, ул. Московская, 30, г. Липецк, 398055, Россия, elik.mam@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0004-1375-1054>

Владимир А. Кольцов канд. с.-х. наук, старший научный сотрудник, лаборатория передовых послеуборочных технологий, Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина, ул. Мичурина, 30, г. Мичуринск, 393774, Россия, kolcov.mich@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2841-6126>

Елена Н. Калмыкова д-р хим. наук, доцент, кафедра химии, Липецкий государственный технический университет, ул. Московская, 30, г. Липецк, 398055, Россия, veter1407@rambler.ru

Вклад авторов

Элмaddin И. Мамедов обзор литературных источников по исследуемой проблеме, проведение эксперимента, выполнение расчётов, несет ответственность за плагиат

Владимир А. Кольцов консультация в ходе исследования

Елена Н. Калмыкова консультация в ходе исследования, написание рукописи, корректировка её до подачи в редакцию

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Elmaddin I. Mamedov graduate student, physical metallurgy department, Lipetsk State Technical University, Moskovskaya Av., 30, Lipetsk, 398055, Russia, elik.mam@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0004-1375-1054>

Vladimir A. Koltsov Cand. Sci. (Agric.), senior researcher, laboratory of advanced post-harvest technologies, Federal Scientific Center. I.V. Michurin, Michurina Av., 30, Lipetsk, 393774, Russia, kolcov.mich@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2841-6126>

Elena N. Kalmykova Dr. Sci. (Chem.), associate professor, chemistry department, Lipetsk State Technical University, Moskovskaya Av., 30, Lipetsk, 398055, Russia, veter1407@rambler.ru

Contribution

Elmaddin I. Mamedov review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations, responsible for plagiarism

Vladimir A. Koltsov consultation during the study

Elena N. Kalmykova consultation during the study, wrote the manuscript, correct it before filing in editing

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 04/04/2023	После редакции 28/04/2023	Принята в печать 01/06/2023
Received 04/04/2023	Accepted in revised 28/04/2023	Accepted 01/06/2023

Требования к оформлению материалов для журнала «Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий»

Редакция просит авторов в подготовке рукописей руководствоваться изложенными ниже правилами. Рукописи, оформленные без соблюдения данных правил, редакцией рассматриваться не будут.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РУКОПИСЕЙ И ЗАЯВЛЕНИЕ НА РАССМОТРЕНИЕ

Представление рукописи в журнал «ВЕСТНИК ВГУИТ» для печати предполагает, что:

- 1) описанная в ней работа ранее не была опубликована;

- 2) она не рассматривается для публикации в ином издательстве;

- 3) ее публикация была одобрена всеми авторами и так или иначе взаимосвязанными организациями, в которых эта работа проводилась;

- 4) в случае принятия к публикации эта статья не будет опубликована где-либо еще в той же форме, на английском или на любом другом языке, в том числе и в электронном виде.

Представление статьи проводят через официальный сайт издания путем прохождения регистрации (<http://www.vestnik-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 хладоносителя системой замороженных шаров // Вестник Международной академии холода. 2016. № 4. С. 74–79.

СТАТЬЯ В ЖУРНАЛЕ С DOI:

(кол-во авторов от 1 до 4):

Илюхина Н.В., Колоколова А.Ю. Закономерности ингибирования культуры *Salmonella* // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 209–212. doi: 10.20914/2310-1202-2018-4-209-212

(кол-во авторов более 4):

Шарова Н.Ю., Принцева А.А., Манжиева Б.С., Выборнова Т.В. и др. Ферменты гидролитического действия в технологиях переработки некондиционного крахмалсодержащего сырья // Пищевая промышленность. 2019. № 4. С. 115–117. doi: 10.24411/0235-2486-2019-10058

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ:

Содержание и технологии образования взрослых: проблема опережающего образования: сб. науч. тр. / Институт образования взрослых Рос. акад. образования; под ред. А.Е. Марона. М.: ИОВ, 2007. 118 с.

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ, ФОРУМОВ, СОВЕЩАНИЙ, СЕМИНАРОВ:

Цветкова И.И., Сводцева И.А. Индикаторный подход к оценке кадровой безопасности в системе экономической безопасности предприятия // Устойчивое развитие социально-экономической системы Российской Федерации: мат. XVII науч.-практ. конф., Гурзуф, Ялта, 04 декабря 2015 г. Симферополь: Ариал, 2016. С. 110–112.

КНИГА, МОНОГРАФИЯ:

(кол-во авторов от 1 до 4):

Румянцева З.П. Менеджмент организаций. М.: Инфра-М, 2015. 432 с.

(кол-во авторов более 4):

Антипова Л.В., Сторублевцев С.А., Успенская М.Е., Попова Я.А. и др. Комплексная переработка кроликов: традиции и инновации: монография. Воронеж, 2017. 377 с.

ДИССЕРТАЦИЯ

Пономаренко Ю.А. Нетрадиционные корма и биологически активные вещества в рационах цыплят-бройлеров и кур-несушек: дис... д-ра с.-х. наук. Сергиев Посад: ВНИТИП, 2017. 437 с.

АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ:

Ушакова А.С. Разработка комплексной технологии переработки сушеного плодово-ягодного сырья: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Кемерово: Кемер. технол. ин-т пищевой пром., 2017. 22 с.

НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ ДОКУМЕНТЫ:

порядок описания:

Заглавие официального документа: сведения, относящиеся к заглавию (указ, постановление), Дата принятия документа / Название издания. Год издания. Количество страниц.

пример:

ГОСТ 5900–2014. Изделия кондитерские. Определение массовой доли влаги и сухих веществ. М.: Стандартинформ, 2015. 8 с.

ПАТЕНТ:

порядок описания:

Обозначение вида документа, номер, название страны, индекс международной классификации изобретений. Название изобретения / И.О.Фамилия изобретателя, заявителя, патентовладельца; Наименование учреждения-заявителя. Регистрационный номер заявки; Дата подачи; Дата публикации, сведения о публикуемом документе.

пример:

Пат. № 2689672, RU, A23L 5/00. Способ комплексной переработки семян сои с выделением белоксодержащих фракций / Четверикова И.В., Шевцов А.А., Ткач В.В., Сердюкова Н.А. № 2018107149; Заявл. 26.02.2018; Оpubл. 01.07.2019. Бюл. № 19.

ЭЛЕКТРОННЫЙ РЕСУРС:

порядок описания:

Фамилия И.О. автора (если указаны). Название ресурса. Место издания: Издательство, год издания (если указаны). Адрес локального сетевого ресурса.

пример:

Липидус Л.В. Центр компетенций цифровой экономики. Ассоциация граждан и организаций по содействию развитию корпоративного образования. URL: <http://www.makonews.ru/centr-kompetencij-cifrovoj-ekonomiki/>

ПОРЯДОК ОПИСАНИЯ ССЫЛОК НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ:

СТАТЬЯ ИЗ ЖУРНАЛА:

порядок описания:

Фамилия И.О. автора (транслитерация). Перевод названия статьи на английский. Перевод названия источника на английский язык. Год, том, номер, страницы (от-до). Указание на язык статьи (in Russian) после описания статьи.

пример:

(кол-во авторов от 1 до 4):

Buyanova I.V., Imangalieva Zh.K. A unit for fine grinding of cottage cheese. Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. no. 3. pp. 23–26. (in Russian).

(кол-во авторов более 4):

Semenov E.V., Babakin B.S., Voronin M.I., Belozerov A.G. et al. Mathematical modeling of the process of cooling a coolant with a system of frozen balls. Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. no. 4. pp. 74–79. (in Russian).

СТАТЬЯ С DOI:

(кол-во авторов от 1 до 4):

Iyukhina N.V., Kolokolova A.Yu. Patterns of Inhibition of Salmonella Culture. Bulletin of the Voronezh State University. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 209–212. doi: 10.20914 / 2310-1202-2018-4-209-212 (in Russian).

(кол-во авторов более 4):

Sharova N.Yu., Printseva A.A., Manzhieva B.S., Vybornova T.V. et al. Hydrolytic enzymes in the processing of substandard starch-containing raw materials. Food Industry. 2019. no. 4. pp. 115–117. doi: 10.24411/0235-2486-2019-10058 (in Russian).

СТАТЬЯ ИЗ ЭЛЕКТРОННОГО ЖУРНАЛА:

Swaminathan V., Lepkoswka-White E., Rao B.P. Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic exchange. Journal of Computer Mediated Communication. 1999. vol. 5. no. 2. Available at: <http://www.ascusc.org/jcmc/vol5/issue2/>

СТАТЬЯ ИЗ ПРОДОЛЖАЮЩЕГОСЯ ИЗДАНИЯ (СБОРНИКА ТРУДОВ):

Astakhov M.V., Tagantsev T.V. Experimental study of the strength of joints “steel-composite”. Proc. of the Bauman MSTU “Mathematical Modeling of Complex Technical Systems”. 2006. no. 593. pp. 125–130. (in Russian).

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ:

Tsvetkova I.I., Svodtseva I.A. An indicator approach to the assessment of personnel security in the system of economic security of an enterprise. Sustainable development of the socio-economic system of the Russian Federation. Simferopol, Arial, 2016. pp. 110–112. (in Russian).

КНИГИ (МОНОГРАФИИ, СБОРНИКИ):

(кол-во авторов от 1 до 4):

Rumyantseva Z.P. Management of organizations: a monograph. Moscow, Infra-M, 2015. 432 p. (in Russian).

(кол-во авторов более 4):

Antipova L.V., Storublevtsev S.A., Uspenskaya M.E., Popova Ya.A. et al. Complex processing of rabbits: traditions and innovations: a monograph. Voronezh, 2017. 377 p. (in Russian).

ДИССЕРТАЦИЯ ИЛИ АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ:

Ushakova A.S. Development of a comprehensive technology for processing dried fruit and berry raw materials. Kemerovo, Kemer. Technol. Institute of Food Industry, 2017. 22 p. (in Russian).

ГОСТ:

State Standard 5900–2014. Confectionery products. Determination of the mass fraction of moisture and dry matter. Moscow, Standartinform, 2015. 8 p. (in Russian).

ПАТЕНТ:

Chetverikova I.V., Shevtsov A.A., Tkach V.V., Serdyukova N.A. The method of complex processing of soybean seeds with the allocation of protein-containing fractions. Patent RF, no. 2689672, 2019.

ЭЛЕКТРОННЫЙ РЕСУРС:

Lapidus L.V. Center of competence of digital economy. Association of citizens and organizations for the development of corporate education. Available at: <http://www.makonews.ru/centr-kompetencij-cifrovoj-ekonomiki/> (in Russian).

List of requirements of drawing up materials in «Proceedings of the Voronezh state university of engineering technologies»

Editorial Board asks the authors to stick to the following rules in writing the papers, otherwise they may be rejected. Submitting the manuscripts for the review.

Submitting the article for publication in the journal "Proceedings of the VSUET" includes: the paper has not been previously published; it is not being considered for publication in another publishing house; its publication has been approved by all authors and interlinked organizations in which this work was carried out; in case of the approval for publication the paper will not be published elsewhere in the same form, in English or any other language, including electronic form.

Submission form (application) for the publication of an article in a journal, filled up in accordance with the rules, should be sent to the following address: **19, Revolution av., 11 Voronezh 394000 Russia** and the electronic version of the paper with an attached manuscript file to an e-mail address vestnikvgt@mail.ru. Should specify the name of the first author of the article in the subject.

The electronic version of the paper should include: a file containing the text of the article, illustrations, tabular material in a separate file (if the amount of one table exceeds full page) and illustration (files in original format), preference is given to vector formats: eps, svg, ai, pdf.

If there are several authors, you must specify contact details of the authors to whom correspondence shall be addressed: address, phone / fax numbers and e-mail addresses.

The manuscript must be accompanied by a review from a specialist in this field, certified by signature and stamp.

Online application form is also available. The author can use the official website of the journal by completing registration at <http://www.vestnik-vsuet.ru/vguit/user/register>).

All articles received by the editorial board of the journal "Proceedings of the VSUET", are subject to mandatory unilateral anonymous ("blind") review (the authors do not know the names of reviewers of the manuscript, and will receive a letter with comments, signed by the chief editor).

After passing the review procedure and the approval of an article for publication, the authors' names and their listed order cannot be changed (addition, deletion, rearrangement). When submitting the final version of the article, please make sure that the list of authors is a complete and listed in a proper order.

ATTENTION: The author is solely responsible for the accuracy and originality of the information provided in the article. All manuscripts are checked for the presence of borrowings using "Antiplagiat" system. All manuscripts are tested with ANTIPLAGIAT for testing electronic documents for originality and reveal plagiarisms. The manuscript must comprise at least 80% of originality; otherwise the manuscript will be returned without the right to be published. Upon detection of copyright infringement or plagiarism in already published articles, they will be invalidated in accordance with the rules of COPE.

Requirements for structure of the paper

Articles in the journal "Proceedings of the VSUET" are published in Russian with English summary. In agreement with the editors, the publication may be done entirely in English.

By agreement, the editors accept publication of the article in English.

Full article (tables, text, footnotes, headers, inserts in a foreign language, references, captions, etc..) must be typed on a computer: in accordance with journal template formatting styles for MS Word 2007-2016..

The volume of the article, including references and captions must not exceed: for work of a common significance: from 5 to 20 pages, for news reports to 3 pages.

The manuscript should be structured to the following plan:

- *Type of article (original article, review article, short message or letter);*
- *UDC (Universal Decimal classification);*
- *DOI - numeric identifier (provided by the editors available for an extra fee);*
- *Full title of the article;*

- *First name (full), patronymic name (initials) and surname (full) of the author (s) e-mail;*
- *Name of the department (for a university) / laboratory (for Scientific Research Institute), the full name of the workplace, city, country;*
- *Abstract;*
- *Keywords;*
- *For reference (filled automatically);*
- *Structured text of the article;*
- *Thanks / acknowledgements;*
- *List of resources used (bibliography);*
- *Information about the authors;*
- *Contribution;*
- *Conflict of interest.*

The English version of the article title, first name, patronymic initial and last name of the authors, the full names of all workplaces, structured summaries and keywords must be given below a resume and keywords in Russian.

The editors reserve the right to correct the translation. It is recommended to take the help of a professional translator to avoid mistakes in compiling the English version of resume.

REQUIREMENTS TO THE CONTENT

I THE TITLE PAGE INCLUDES:

Article type

UDK

DOI:

TITLE OF THE ARTICLE. Title of work should be as short as possible (no more than 120 characters), and should accurately reflect its content. It is important to avoid titles in the form of interrogative sentences, as well as titles with an ambiguous meaning. Must use only standard abbreviations (acronyms). Must not use acronyms in the title. Full term should precede the first use of the acronym in the text.

FIRST NAME (FULL), PATRONYMIC (INITIAL) AND SURNAME (FULL) OF AUTHOR (S).

For example: **Aleksey D. Ivanov¹,**

Ivan A. Petrov²

FULL NAME OF ALL ORGANIZATIONS to which the authors are related. If the authors work in different institutions, the relationship of each author with his organization should be shown by using uppercase numbers, for example:

Example: Department (Laboratory), University (scientific research institute), city, country.

II. THE MAIN TEXT OF THE ARTICLE

The manuscripts of original research are submitted under the standard international scheme (IMRAD format - Introduction, Methods, Results and Discussion) and article should reflect the following headings:

Introduction - outlines the current state of the problem and the urgency of the study. It is necessary to give a critical assessment of the literature related to the issue. This assessment differentiates outstanding issues. Clear defined goals and objectives must be determined, explaining further research in a particular area;

Materials and methods - a fairly detailed description of the work is given. Previously published methods should be accompanied by a reference note: the author describes the changes related to the subject.

The results and discussion - the results should be clear and concise. Give a convincing explanation of the results and their significance so as the reader can not only independently assess the methodological advantages and disadvantages of the study, but also replicate if necessary.

Conclusion summarizes the main results of the research. The author gives recommendations and guidance on possible areas of further research.

The name and contents of figures and tables (rows and columns) should be given as in both Russian and English languages.

III ACKNOWLEDGEMENTS:

(when available - in Russian and English). The author should list persons, organizations, foundations, etc., who contributed help for a research, work and so on. (E.g. financial aid, language (linguistic) aid assistance in writing articles or editing proofreading , etc.)

IV. REFERENCES

Cited bibliography must contain at least 10 sources. Self-citations are allowed no more than 20 percent. At least 50 percent of the sources from the bibliography should be published in the last five years, including in the journals indexed in databases **ScienceDirect**, **Web of Science**, **Scopus**, **Science Index**. Only in case of need the references to earlier works are allowed. The bibliography does not include textbooks, regulatory and archival materials, statistical collections, newspaper notes without the author's name, monographs, abstracts and theses. In the cited literature, it is desirable to specify the sources with **DOI**.

Bibliography (list of resources) is presented in two ways:

1. *Russian along with foreign sources in accordance with GOST 7.0.5-2008 (All Union State standard).*
2. *Transliterated in the Latin alphabet with the translation of source publications into English for the international identification system.*

Style of links (references):

In the article, the number of a link is enclosed in square brackets and placed in line with the text. You can give the names of the authors, but the number(s) of the references must always be present. The reference numbers (numbers in brackets) shall be in the reference list in the order in which they appear in text.

Example:

«... as shown [3; 6] or Barnaby and Jones [8] obtained a different result ... »

The author is solely responsible for the accuracy of bibliographic sources, including the English translation.

1. Russian version - in accordance with *Appendix 1, 2*

References in the Russian version of the article are given in the original language. All references should be made uniformly: only a dot (full stop) without dashes between the parts of description. Symbols № and & are not used; for a number you should use Latin letter N with no point after it; double slash separates the description of a larger document, which refers to the fragment. You should not put dot (full stop) before the double slash // but spaces before and after the double slash // are required.

2. The English (REFERENCES) - in accordance with Harvard standard:

References in English are primarily necessary to track cited authors and journals. The correct description of the sources used in reference lists is the guarantee that the quoted publication will be taken into account when assessing the scientific work of its authors, and thus the organization, region and country. Quoting a journal determines its scientific level, the credibility, the effectiveness of its Editorial Board, etc.

The names of sources and works are specified in full, without abbreviations. The titles of monographs, collections of articles and conferences are transliterated into Latin alphabet, followed by an English translation in brackets. The website <http://www.translit.ru/> can be used for free transliteration of Russian text in Latin letters (version of BSI).

In the bibliography (**English version**), it is not allowed to use separating characters «//», «—» and «№»

Instead of references to materials of theses and abstracts, it is recommended to include references to the original articles on the subject of the thesis, as the theses themselves are viewed as the manuscripts and are not printed sources.

VI. BASIC ETHICAL PRINCIPLES

Articles accepted for publication in the journal "Proceedings of the VSUET" must reveal the most significant, complete and previously unpublished research results.

To learn more on publication ethics and ethical standards for publication in the journal "Proceedings of the VSUET" please visit the website.: <http://www.vestnik-vsuet.ru/vguir/about/editorialPolicies#custom-2>

The magazine «the Messenger ВГУИТ» leaves 4 times a year: № 1 – March; № 2 – June; № 3 – September; № 4 – December.

The article must be thoroughly checked and signed by all the authors. Name, middle name, last name, address, science degree, position, place of work, telephone number (office and home) E-mail, the person communicate to are pointed out on a separate sheet of paper.

Accompanying deeds should be applied on paper:

- The transmittal letter;
- An extract from the report of faculty meeting with paper recommendation for printing;
- The positive review of the leading scientist in the given area or a member of an editorial board of the series, authenticated by the signature and printing.

The question on paper publication, its deviation is solved by an editorial board of the log and the solution is definitive. In case of refund of paper for correction by representation date it is considered day of reception of the corrected text. Finishing term - no more than 1 month.

The materials mismatching given demands of registration, to the publication are not accepted. Manuscripts are not refunded to authors.

The pay for the publication of manuscripts is not raised from post-graduate students

VII. CONTACT INFORMATION

scientific and public journal "Proceedings of the VSUET"

If you have any questions, please contact the editorial office:

Anna A. Derkanosova - Ph.D., associate professor of department of Service and restaurant business, Head of the Centre for collective use "Control and management of energy efficient projects"

FSBEE HE "Voronezh state university of engineering technologies"

Tel.: 8 920 432 16 57

E-mail: vestnikvgta@mail.ru, aa-derk@yandex.ru

Address: 19, Revolution av., 11 Voronezh 394000 Russia

ORDER OF DESCRIPTION OF LINKS IN RUSSIAN

JOURNAL ARTICLE:

(number of authors from 1 to 4):

Buyanova I.V., Imangalieva Zh.K. A unit for fine grinding of cottage cheese // Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. № 3. P. 23–26.

(number of authors more than 4):

Semenov E.V., Babakin B.S., Voronin M.I., Belozarov A.G. et al. Mathematical modeling of the process of cooling a coolant with a system of frozen balls // Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. № 4. P. 74–79.

ARTICLE WITH DOI:

(number of authors from 1 to 4):

Ilyukhina N.V., Kolokolova A.Yu. Patterns of Inhibition of *Salmonella* Culture // Bulletin of the Voronezh State University. 2018. V. 80. № 4. P. 209–212. doi: 10.20914 / 2310-1202-2018-4-209-212

(number of authors more than 4):

Sharova N.Yu., Printseva A.A., Manzhieva B.S., Vybornova T.V. et al. Hydrolytic enzymes in the processing of substandard starch-containing raw materials // Food Industry. 2019. № 4. P. 115–117. doi: 10.24411/0235-2486-2019-10058

COLLECTION OF SCIENTIFIC PAPERS:

The content and technology of adult education: the problem of advanced education: collection of scientific papers / Institute for Adult Education Ros. Acad. education; under the editorship of A.E. Marona. M.: JOB, 2007. 118 p.

MATERIALS OF CONFERENCES, FORUMS, MEETINGS, SEMINARS:

Tsvetkova I.I., Svodtseva I.A. An indicator approach to the assessment of personnel security in the system of economic security of an enterprise // Sustainable development of the socio-economic system of the Russian Federation: mat. XVII scientific and practical. conf., Gurzuf, Yalta, December 4, 2015. Simferopol: Arial, 2016. P. 110–112.

BOOK, MONOGRAPH:

(number of authors from 1 to 4):

Rumyantseva Z.P. Management of organizations. M.: Infra-M, 2015. 432 p.

(number of authors more than 4):

Antipova L.V., Storulevtsev S.A., Uspenskaya M.E., Popova Y.A. et al. Integrated processing of rabbits: traditions and innovations: a monograph. Voronezh, 2017. 377 p.

DISSERTATION:

Ponomarenko Yu.A. Unconventional feeds and biologically active substances in the diets of broilers and laying hens: dis ... Dr. S.-kh. sciences. Sergiev Posad: VNITIP, 2017. 443 p.

SUMMARY OF THE DISSERTATION

Ushakova A.S. Development of a comprehensive technology for processing dried fruit and berry raw materials: abstract of the diss....cand. tech. sciences. Kemerovo: Kemer. technol. Institute of Food Industry, 2017. 22 p.

REGULATORY DOCUMENTS:

description order:

Title of an official document: information related to the title (decree, resolution), Date of adoption of the document / Title of publication. The year of publishing. Number of pages.

example:

GOST 5900–2014. Confectionery. Determination of the mass fraction of moisture and solids. M.: Standartinform, 2015. 8 p.

PATENT:

description order:

Designation of the type of document, number, name of the country, index of international classification of inventions. Title of invention / name of inventor, applicant, patent holder; Name of applicant institution. Registration number of the application; Date of application; Date of publication, information about the published document.

example:

7 Pat. no. 2689672, RU, A23L 5/00. The method of complex processing of soybean seeds with the allocation of protein-containing fractions / Chetverikova I.V., Shevtsov A.A., Tkach V.V., Serdyukova N.A. no. 2018107149; Appl. 26.02.2018; Publ. 01.07.2019. Bull. Number 19.

ELECTRONIC RESOURCE:Lapidus L.V. Center of competence of digital economy. Association of citizens and organizations for the development of corporate education. URL: <http://www.makonews.ru/centr-kompetencij-cifrovoj-ekonomiki/>

ENGLISH LANGUAGE DESCRIPTION PROCEDURE:**JOURNAL ARTICLE:**

description order:

Surname I.O. author (transliteration). Translation of the title of the article into English. Translation of the source name into English. Year, volume, number, pages (from-to). An indication of the language of the article (in Russian) after the description of the article.

example:

(number of authors from 1 to 4):

Buyanova I.V., Imangalieva Zh.K. A unit for fine grinding of cottage cheese. Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. no. 3. pp. 23–26. (in Russian).

(number of authors more than 4):

Semenov E.V., Babakin B.S., Voronin M.I., 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).