



ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК

ISSN 2072-8921

ФГБОУ ВО
АЛТАЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. И. И. ПОЛЗУНОВА

№
4

2023

Ползуновский ВЕСТНИК

ISSN 2072-8921

Регистрационный номер ПИ № ФС 77-75624
выдан Федеральной службой по надзору в сфере
связи, информационных технологий и массовых
коммуникаций 19.04.2019 г.

Префикс DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921
ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С ОКТЯБРЯ 2002 г.

Периодичность – 4 номера в год

№ 4 2023 г.

Научный журнал
входит в перечень ВАК (K1), RSCI (ядро РИНЦ)

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Гурьев Алексей Михайлович
д.т.н., проф. АлтГТУ (г. Барнаул)

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Маюрникова Лариса Александровна
д.т.н., проф., зав. каф. «Технология и организация
общественного питания» КемГУ (г. Кемерово)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Сакович Г. В., академик РАН (г. Бийск)
Мэй Шунчи, проф., декан УТУ (г. Ухань, Китай)
Лыгденов Б. Д., д.т.н., проф. УТУ (г. Ухань, Китай)
Солтан О. И. А., к.т.н., лектор каф. «Наука о продуктах питания», Сельскохозяйственный факультет,
Миния университет (г. Эль-Миния, Египет)
Бессон Р., проф., директор Международного российско-французского центра инноваций и
трансфера технологий (г. Безансон, Франция)
Дебердеев Т. Р., д.т.н., зав. каф. «Технологии переработки полимеров и композиционных
материалов» КНИТУ (г. Казань)
Ильясов С. Г., д.х.н., заместитель директора по научной работе ИПХЭТ СО РАН (г. Бийск)
Блазнов А. Н., д.т.н., заведующий лабораторией материаловедения и минерального сырья
ИПХЭТ СО РАН, (г. Бийск)
Петров Е. А., д.т.н., проф., декан инженерного спецфакультета БТИ (г. Бийск)
Деев В. Б., д.т.н., проф., профессор кафедры «Обработка металлов давлением» НИТУ МИСиС
(г. Москва)
Батаев В. А., д.т.н., проф. НГТУ (г. Новосибирск)
Коновалов С. В., д.т.н., проф., проректор по научной и инновационной деятельности
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет» (г. Новокузнецк)
Щетинин М. П., д.т.н., проф., проректор по научной работе МГУПП (г. Москва)
Тамова М. Ю., д.т.н., доц., зав. каф. «Общественного питания и сервиса» КубГТУ (г. Краснодар)
Попов В. Г., д.т.н., доц., зав. каф. «Товароведение и технологии продуктов питания» ТИУ (г. Тюмень)
Егорова Е. Ю., д.т.н., доц., зав. каф. «Технология хранения и переработки зерна» АлтГТУ (г.
Барнаул) Майоров А. А., д.т.н., проф., главный научный сотрудник ФГБНУ ФАНЦА (г. Барнаул)
Новоселов С. В., д.т.н., доц. АлтГТУ (г. Барнаул)
Коньшин В. В., д.т.н., проф., зав. каф. «Химическая технология» АлтГТУ (г. Барнаул)
Романов А. С., д.т.н., проф., зам. директора ООО «Балтийский пекарский дом» (г. Калининград)
Алтухов И. В., д.т.н., доц. ИрГАУ (г. Иркутск)
Гуринович Г. В., д.т.н., проф., зав. каф. «Технология продуктов питания животного происхождения»
КемГУ (г. Кемерово)
Ананьева Е. С., к.т.н., доц. АлтГТУ (г. Барнаул)

ОТВЕТСТВЕННЫЙ ЗА ВЫПУСК

Стопорева Татьяна Александровна,
к.т.н., начальник ОРПД АлтГТУ (г. Барнаул)

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР

Проскура Николай Анатольевич,
редактор АлтГТУ (г. Барнаул)

УЧРЕДИТЕЛИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «АЛТАЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. И. И. ПОЛЗУНОВА»

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ
ВОДНЫХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ИНДЕКС: 73664 (Урал-Пресс)

АДРЕС РЕДАКЦИИ И ИЗДАТЕЛЯ

656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина 46, Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова (АлтГТУ), тел. (3852) 29-09-46, e-mail: polz_journal@mail.ru, Стопорева Т. А.
Сайт журнала: <https://ojs.altstu.ru/index.php/PolzVest>
Дата выхода в свет 29.12.2023 г.
Цена 600 рублей.



Polzunovskiy VESTNIK

ISSN 2072-8921

DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921
EST. IN 2002.

Publication frequency: quarterly

№ 4 2023

SCIENTIFIC JOURNAL

EDITOR-IN-CHIEF

Aleksey Guriev

Doctor of Technical Sciences, professor at
ASTU, Barnaul, Russia

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

Larisa Mayurnikova

Doctor of Technical Sciences, professor at
KemSU, Kemerovo, Russia

EDITORIAL BOARD

Gennady Sakovich, RAS academician, Biysk, Russia
Mei Shunqi, professor, WTU, Wuhan, China
Burial Lygdenov, Doctor of Technical Sciences, WTU, Wuhan, China
Soltan Osama Ismaeil Ahmed, Candidate of Technical Sciences, Lecturer, Minia University, El-Minia, Egypt
Raimond Besson, professor, Besancon, France
Timur Deberdev, Doctor of Technical Sciences, KNRTU, Kazan, Russia
Sergey Iliysov, Doctor of Chemical Sciences, IPCET SB RAS, Biysk, Russia
Aleksey Blaznov, Doctor of Technical Sciences, IPCET SB RAS, Biysk, Russia
Evgeny Petrov, Doctor of Technical Sciences, BTI, Biysk, Russia
Vladislav Deev, Doctor of Technical Sciences, NUST MISIS, Moscow, Russia
Vladimir Bataev, Doctor of Technical Sciences, NSTU, Novosibirsk, Russia
Sergei Konovalov, Doctor of Technical Sciences, Siberian state Industrial University, Novokuznetsk, Russia
Mikhail Shchetinin, Doctor of Technical Sciences, MSUFP, Moscow, Russia
Maya Tamova, Doctor of Technical Sciences, KubSTU, Krasnodar, Russia
Vladimir Popov, Doctor of Technical Sciences, TIU, Tyumen, Russia
Elena Egorova, Doctor of Technical Sciences, ASTU, Barnaul, Russia
Aleksandr Mayorov, Doctor of Technical Sciences, FASCA, Barnaul, Russia
Sergei Novoselov, Doctor of Technical Sciences, ASTU, Barnaul, Russia
Vadim Konshin, Doctor of Technical Sciences, ASTU, Barnaul, Russia
Aleksandr Romanov, Doctor of Technical Sciences, professor, LLC "Baltisky Bakery House",
Kaliningrad, Russia
Igor Altukhov, Doctor of Technical Sciences, Associate professor, IrSAU, Irkutsk, Russia
Galina Gurinovich, Doctor of Technical Sciences, professor, KemSU, Kemerovo, Russia
Elena Ananieva, Candidate of Technical Sciences, Associate professor, ASTU, Barnaul, Russia

ISSUE MANAGER

Tatiana Stoporeva

Candidate of Technical Sciences, ASTU,
Barnaul, Russia

TECHNICAL EDITOR

Nikolay Proskura

Editor, ASTU, Barnaul, Russia

FOUNDERS

POLZUNOV ALTAI STATE TECHNICAL UNIVERSITY (ASTU)

INSTITUTE FOR WATER AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF THE SIBERIAN BRANCH OF THE
RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES (IWEP SB RAS)

PUBLISHER

Polzunov Altai State Technical University, phone.(3852) 29-09-46, e-mail: polz_journal@mail.ru

ADDRESS: Prospect Lenina 46, office 119 GK, Barnaul, 656038, Altai region, Russia

WEBSITE: <https://ojs.altstu.ru/index.php/PolzVest>

Signed for printing 29.12.2023



СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

- Н. П. Супрун, Г. С. Гусакова, Е. Г. Филатова*
Исследование кинетики реакции спиртового брожения с применением насадки из скорлупы кедрового ореха.....7
- Н. И. Мячикова, Ю. А. Болтенко, Я. В. Чуркина, Е. Н. Елисеева*
Влияние нетрадиционных видов муки на формирование потребительских свойств кексов.....15
- Р. В. Дорофеев, Т. Н. Кузнецова, Е. Ф. Отт, И. А. Функ*
Выделение лактококков, перспективных для молочной промышленности.....24
- Е. Ю. Егорова, Д. А. Шохин*
Разработка рецептур десертных ликеров на плодово-ягодном сырье Алтайского края..... 29
- Д. С. Габриелян, А. Л. Новокшанова*
Использование псиллиума для загущения творожной сыворотки.....38
- О. А. Орловцева, М. В. Чубарова, И. А. Никитин, С. Н. Тефилова, М. В. Клоконос*
Оценка печенья функционального назначения методами квалиметрии.....45
- В. Г. Попов, В. В. Аксентьева*
Проектирование комплексных пищевых добавок в виде микрокапсулированных синбиотиков.....54
- И. Ю. Резниченко, Т. А. Мирошина*
Обоснование состава и технологических параметров приготовления мюсли-батончиков повышенной пищевой ценности..... 62
- Е. В. Скороспелова, О. Ю. Михайлова, Н. К. Шелковская*
Возможность использования рябины обыкновенной, произрастающей в лесостепной зоне Алтайского края, для производства продуктов переработки.....70
- А. А. Рядинская, С. А. Чуев, И. А. Кощав, К. В. Лавриненко*
Разработка оригинальных мясорастительных консервов, обогащенных тиамин и ниацином.....76
- В. Н. Василенко, М. В. Копылов, А. Н. Остриков, А. В. Терёхина*
Разработка технологии двухступенчатой рафинационной очистки растительных масел с поэтапным внесением бентонитовой глины и активированного угля.....85
- Н. Б. Кондратьев, Е. В. Казанцев, М. А. Пестерев, М. Ш. Бегаулов, Н. А. Буравова*
Обоснование сортообразца тыквы для изготовления овощного мармелада 94
- М. Ю. Акимов, Т. В. Жидехина, Е. В. Жбанова, В. А. Кольцов, А. М. Миронов*
Нутриентный профиль плодов кизила (*Cornus mas L.*)..... 103
- Е. Х. Гебремескал, Л. А. Надточий, Н. Г. Казыдуб, Р. В. Чернов, Вэйхонг Лу*
Общее содержание фенолов и антиоксидантная активность шалфея испанского (*SALVIA HISPANICA L.*), интродуцированного в Российской Федерации..... 110
- А. В. Копылова, А. Н. Сапожников, Н. И. Давыденко, Т. А. Левин, И. Ю. Рыбакольников*
Влияние растительных добавок на показатели качества заварного полуфабриката..... 118
- Б. С. Тамабаева, Э. М. Абакирова*
Разработка функционального продукта из мяса яка..... 127
- А. А. Теорогова, А. В. Ландиховская, С. Е. Кочнева*
Совершенствование состава стабилизационных систем на основе камедей для традиционного мороженого в условиях импортозамещения..... 133
- Н. Н. Типсина, Г. А. Демиденко, Д. А. Кох*
Технология получения и применения полуфабрикатов из топинамбура для обогащения хлебобулочных изделий..... 140
- В. Г. Курцева, М. Н. Колесниченко*
Разработка рецептуры овсяного печенья повышенной пищевой ценности с полуфабрикатом из паслена..... 146
- М. А. Вайтанис, З. Р. Ходырева*
Исследование реологических свойств пищевой системы для суфле на основе тыквы..... 154
- С. И. Охременко, С. А. Соколов, А. А. Яшонков*
Экспериментальная оценка влияния обработки высоким гидростатическим давлением на микробиологические показатели полуфабриката из пряных трав..... 159

РАЗДЕЛ 2. ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАУКИ О МАТЕРИАЛАХ, МЕТАЛЛУРГИЯ

Д. А. Романов, С. В. Московский, В. В. Почетуха, Е. С. Ващук, Ю. Ф. Иванов

Структура и свойства системы «покрытие (Ag–С)/(медь) подложка», облученной импульсным электронным пучком .166

Е. В. Арышенский, М. А. Лапшов, Д. Ю. Распосиенко, С. В. Коновалов, К. А. Малкин, В. В. Макаров

Исследование влияния многоступенчатой термической обработки на формирование микро-структуры в авиалах с избытком кремния и добавками скандия и циркония178

Ю. Ф. Иванов, В. Е. Громов, М. А. Порфирьев, Р. Е. Крюков, В. В. Шляров

Разрушение пластинчатого перлита в поверхности катания рельсов при длительной эксплуатации 191

А. А. Рагазин., Е. В., Арышенский, В. Ю. Арышенский, А. М. Дриц, С. В. Коновалов

Изучение влияния добавок Hg и Hf на литую микроструктуру и механические свойства высокомагниевого алюминиевого сплава 1590 экономно легированного скандием.....199

А. З. Бекешев, Ю. А. Кадыкова, С. Г. Калганова, А. С. Мостовой, Л. К. Тастанова, М. К. Ахметова, Б. О. Сарсенбаев

Изучение свойств эпоксидного композиционного материала, наполненного модифицированными минеральными наполнителями208

Л. К. Казарян, С. Р. Лоскутов, М. А. Пляшечник, Ю. Я. Симкин

Торрефикация и пиролиз хвои *Pinus sylvestris* L.: сравнительная характеристика продуктов214

А. А. Ушканов, Н. Н. Лазарева, А. А. Охлопкова, А. П. Васильев

Исследование полимерных композиционных материалов на основе политетрафторэтилена и углеродных волокон. 223

Д. Д. Ефрюшин, А. А.Беушев

Реверсивный инжиниринг полимерных материалов на примере производства ледобура с пластиковым шнеком 230

Д. В. Соснина, А. А. Алтынов, М. В. Киргина, И. А. Богданов

Получение компонентов моторных топлив каталитической переработкой смесей прямогонной дизельной фракции и рапсового масла 237

А. К. Горелкина, И. В. Тимощук, Е. Н. Неверов, Н. С. Голубева, Л. А. Иванова

Серосодержащие загрязнители и способы снижения их концентрации 244

В. Э. Зинуров, В. В. Харьков, И. И. Насырова, А. В. Дмитриев, А. М. Мугинов

Влияние угла наклона сепарационных пластин мультивихревого сепаратора на эффективность и гидравлическое сопротивление 249

Е. С. Прусов, И. В. Шабалдин, В. Б. Деев

Формирование структуры и свойств литых композиционных материалов с повышенным содержанием экзогенной фазы 257

С. А. Гаврилов, Д. А. Габец, М. А. Гурьев, С. Г. Иванов

Влияние химического состава на структурно-фазовое состояние и адгезионную прочность металлокомпозитных брикетов для фрикционных поглощающих аппаратов и тормозных колодок тяжелой техники..... 264

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ 270

CONTENTS

SECTION 1. FOOD TECHNOLOGY

- N. P. Suprun, G. S. Gusakova, E. G. Filatova*
A kinetic study of the alcoholic fermentation reaction using a pine nut shell as a packing element.....7
- N. I. Myachikova, Yu. A. Boltenko, Ya. V. Churkina, E. N. Eliseeva*
Influence of non-traditional flours on the formation of consumer properties of cupcakes...15
- R. V. Dorofeev, T. N. Kuznetsova, E. F. Ott, I. A. Funk*
Isolation of lactococci promising for dairy industry.....24
- E. Yu. Egorova, D. A. Shokhin*
Development of recipes for dessert liqueurs based on fruit and berry raw materials of the Altai region29
- D. S. Gabrielyan, A. L. Novokshanova*
Use of psyllium for thickening curd whey.....38
- O. A. Orlovtsseva, M. V. Chubarova, I. A. Nikitin, S. N. Tefikova, M. V. Klokonos*
Evaluation of functional cookies by qualimetry methods45
- V. G. Popov, V. V. Aksentieva*
Design of complex food supplements in the form of microcapsulated synbiotics54
- I. Yu. Reznichenko, T. A. Miroshina*
Substantiation of the composition and technological parameters of preparing muesli bar of increased nutritional value .62
- E. V. Skorospelova, O. Yu. Mikhailova, N. K. Shelkovskaya*
Processing potential of mountain ash, growing in forest-steppe area of Altai territory70
- A. A. Ryadinskaya, S. A. Chuev, I. A. Koshchaev, K. V. Lavrinenko*
Development of original meat-growing recipes enriched with thiamine and niacin..76
- V. N. Vasilenko, M. V. Kopylov, A. N. Ostrikov, A. V. Terekhina*
Development of technology for two-stage refining purification of vegetable oils with step-by-step introduction of bentonite clay and activated carbon.....85
- N. B. Kondratiev, E. V. Kazantsev, M. A. Pesterev, M. Sh. Begeulov, N. A. Buravova*
Justification of pumpkin variety for manufacturing vegetable marmalade..... 94
- M. Yu. Akimov, T. V. Zhidekhina, Ye. V. Zhbanova, V. A. Koltsov, A. M. Mironov*
Nutrient profile of dogwood fruits (Cornus mas L.)..... 103
- Ye. H. Gebremeskal, L. A. Nadtochii, N. G. Kazydub, R. V. Chernov, Weihong Lu*
Total phenolic content and antioxidant activity of spanish sage (Salvia Hispanica L.) Introduced in the Russian Federation 110
- A. V. Kopylova, A. N. Sapozhnikov, N. I. Davydenko, T. A. Levin, I. Yu. Rybakolnikova*
Influence of plant additives on quality indicators of choux pastry semi-finished product..... 118
- B. S. Tamabaeva, E. M. Abakirova*
Development of functional product from yak meat..... 127
- A. A. Tvorogova, A. V. Landikhovskaya, S. E. Kochneva*
Improvement of composition of gum-based stabilization systems for production of traditional ice cream under conditions of import substitution 133
- N. N. Tipsina, G. A. Demidenko, D. A. Koch*
Technology of production and application of topinambour semi-finished products for bakery enrichment products..... 140
- V. G. Kurtseva, M. N. Kolesnichenko*
Development of the oatmeal cookie recipe increased nutritional value with a semi-finished product made of nightshade 146
- M. A. Vaytanis, Z. R. Khodyreva*
Investigation of rheological properties of food system for pumpkin-based souffle ... 154
- S. I. Ohremenko, S. A. Sokolov, A. A. Yashonkov*
Experimental evaluation of effect of high hydrostatic pressure treatment on microbiological parameters of a semi-finished product from herbs 159

SECTION 2. CHEMICAL TECHNOLOGIES, MATERIALS SCIENCES, METALLURGY

<i>D. A. Romanov, S. V. Moskovsky, V. V. Pochetuha, E. S. Vashchuk, Yu. F. Ivanov</i> Structure and properties of the system "Coating (Ag-C)/(copper) substrate", irradiated by a pulse electron beam 166	<i>A. A. Ushkanov, N. N. Lazareva, A. A. Okhlop-kova, A. P. Vasilev</i> Research of polymer composite materials based on polytetrafluoroethylene and carbon fibers 223
<i>E. V. Aryshenskii, M. A. Lapshov, D. Yu. Rasposienko, S. V. Konovalov, K. A. Mal-kin, V. V. Makarov</i> Investigation of multistage thermal treat-ment effect on microstructure formation in sil-icon-rich avial with scandium and zirconium additions 178	<i>D. D. Efryushin, A. A. Beushev</i> Reverse engineering of polymer materi-als on example of production of ice drill with plastic auger 230
<i>Yu. F. Ivanov, V. E. Gromov, M. A. Porfiriev, R. E. Kryukov, V. V. Shlyarov</i> Fracture of lamellar pearlite in the sur-face layers of railhead during long-term oper-ation 191	<i>D. V. Sosnina, A. A. Altynov, M. V. Kirgina, I. A. Bog-danov</i> Production components of fuels by cata-lytic processing of diesel fraction and rape-seed oil blends 237
<i>A. A. Ragazin, E. V. Aryshenskii, V. Yu. Aryshen-skii, A. M. Drits, S. V. Konovalov</i> Study of Er and Hf additions effect on as-cast microstructure and mechanical proper-ties of 1590 magnesium-rich aluminum alloy with lean scandium addition 199	<i>A. K. Gorelkina, I. V. Tymoshchuk, E. N. Neverov, N. S. Golubeva, L. A. Ivanova</i> Sulfur-containing pollutants and ways to reduce their concentration 244
<i>A. Z. Bekeshev, Yu. A. Kadykova, S. G. Kalganova, A. S. Mostovoy, L. K. Tastanova, M. K. Akhmetova, B. O. Sarsenbayev</i> Study of the properties of an epoxy com-posite material filled with modified mineral fill-ers 208	<i>V. E. Zinurov, V. V. Kharkov, I. I. Nasyrova, A. V. Dmitriev, A. M. Muginov</i> Influence of incline angles for separation plates on efficiency and pressure drop of mul-tivortex separator 249
<i>L. K. Kazaryan, S. R. Loskutov, M. A. Plyashechnik, Yu.i Ya. Simkin</i> Torrefication and pyrolysis of Pinus syl-vestris L. needles: comparative characteris-tics of products 214	<i>E. S. Prusov, I. V. Shabaldin, V. B. Deev</i> Formation of the structure and properties of cast composite materials with increased exogenous phase content 257
	<i>S. A. Gavrilov, D. A. Gabets, M. A. Guryev, S. G. Ivanov</i> Influence of chemical composition on structural-phase state and adhesive strength of metal-composite briquettes for friction draft gears and brake pads of heavy equip-ment 264
AUTHOR'S INDEX 270	



РАЗДЕЛ 1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 663.316

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.001



ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ РЕАКЦИИ СПИРТОВОГО БРОЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАСАДКИ ИЗ СКОРЛУПЫ КЕДРОВОГО ОРЕХА

Наталья Петровна Супрун¹, Галина Семеновна Гусакова²,
Елена Геннадьевна Филатова³

^{1, 2, 3} Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

¹ suprun_np@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6010-4221>

² gusakova58@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9222-5295>

³ efila@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9363-7742>

Аннотация. В работе исследована кинетика реакции спиртового брожения с применением насадки из скорлупы кедрового ореха. В качестве объектов исследования использовали образцы сусла, содержащие разное количество свежавыжатого и осветленного сока, а также восстановленный яблочный сок из концентрата. Исследование кинетики проводили, используя интегральные формы основного кинетического уравнения. Суть используемого метода заключалась в подборе осей, пригодных для описания исследуемого процесса. Полученные значения коэффициентов детерминации R^2 свидетельствуют о том, что реакция спиртового брожения с применением насадки из скорлупы кедрового ореха для образцов, содержащих преимущественно свежавыжатый сок (образцы 1 и 2), соответствует реакции нулевого порядка. Для образцов, содержащих преимущественно восстановленный яблочный сок из концентрата (образцы 3, 4 и 5), соответствует реакции первого порядка. Использование в реакции брожения сусла, содержащего преимущественно свежавыжатый сок не менее чем 75 % от общего объема (образцы 1 и 2), позволило прогнозировать наиболее благоприятные условия для получения этилового спирта. Скорость образования этилового спирта достигает при этом 0,047–0,046 об. % в час. Время, в течение которого прореагировало половина исходного количества вещества, составляет 85–86 часов.

Ключевые слова: кинетика реакции брожения, интегральные формы основного кинетического уравнения, свежавыжатый яблочный сок, восстановленный концентрат сока.

Для цитирования: Супрун Н. П., Гусакова Г. С., Филатова Е. Г. Исследование кинетики реакции спиртового брожения с применением насадки из скорлупы кедрового ореха // Ползуновский вестник. 2023. № 4, С. 7–14. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.001. EDN: <https://elibrary.ru/bdvwyw>.

Original article

A KINETIC STUDY OF THE ALCOHOLIC FERMENTATION REACTION USING A PINE NUT SHELL AS A PACKING ELEMENT

Natalya P. Suprun ¹, Galina S. Gusakova ², Elena G. Filatova ³

^{1, 2, 3} Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

¹ suprun_np@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6010-4221>

² gusakova58@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9222-5295>

³ efila@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9363-7742>

Abstract. In this paper, the kinetic of the alcoholic fermentation reaction using a pine nut shell as a packing element studied. As the objects of presented study used the samples of wort containing different concentrations of the apple juice freshly pressed and clarified and reconstituted juice concentrate to desired properties. The study of kinetic carried out using integral forms of the main kinetic equation. The essence of the used method was in choice of axes suitable for describing the alcoholic fermentation process. The obtained values of the determination coefficients R^2 indicate that the alcoholic fermentation reaction using pine nut shell nuzzle for samples containing mainly freshly pressed juice (samples 1 and 2) corresponds to reaction of zero order. For samples containing predominantly reconstituted juice concentrate (samples 3, 4 and 5), corresponds to reaction of first order. The use of wort in the alcohol fermentation reaction containing predominantly freshly pressed and clarified juice in an amount of at least 75% of the total wort volume (samples 1 and 2) made it possible to predict the most favorable conditions for obtaining ethyl alcohol. The rate of ethyl alcohol formation reached 0.047-0.046 vol. % at one o'clock. The time in which half of the initial substance amount reacted was 85-86 hours.

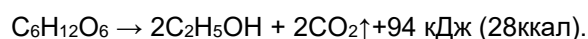
Keywords: fermentation reaction kinetics, integral forms of the main kinetic equation, freshly squeezed apple juice, reconstituted apple juice from concentrate.

For citation: Suprun, N.P., Gusakova, G.S. & Filatova, E.G. (2023). A kinetic study of the alcoholic fermentation reaction using a pine nut shell as a packing element. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 7-14. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.001. EDN: <https://elibrary.ru/BDVWYW>.

ВВЕДЕНИЕ

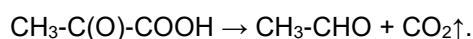
Брожение суслу – это важнейшая технологическая стадия, в процессе которой формируются основные показатели качества будущего виноматериала [1–3].

В общем виде уравнение спиртового брожения описывается уравнением Гей-Люссака следующим образом:

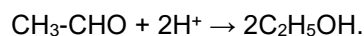


Известно, что процесс спиртового брожения является многостадийным, протекает через несколько промежуточных стадий. Нужно отметить, что кинетика этого процесса следует теории Михаэлиса–Ментена [4].

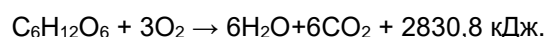
Спиртовое брожение, как и любое другое брожение, можно представить в виде двух стадий [5]. Сначала из углевода образуется 2-оксипропановая (пировиноградная – ПВК) кислота. В дрожжевых клетках ПВК подвергается декарбоксилированию, в результате образуется уксусный альдегид. Данная реакция катализируется ферментом пируватдекарбоксилазы:



Затем образовавшийся уксусный альдегид присоединяет к себе водород, восстанавливаясь при этом в этиловый спирт:



Реакция катализируется ферментами дрожжей. С энергетической точки зрения процесс брожения малозакономичен. Недостаток выделяющейся при брожении энергии дрожжи возмещают за счёт переработки большого количества сахара. При доступе кислорода спиртовое брожение вытесняется полным окислением углеводов до диоксида углерода и воды с выделением значительного количества энергии:



Наряду с главными продуктами брожения в небольшом количестве образуются побочные продукты: глицерин (1–3 %), уксусный альдегид, уксусная и янтарная кислоты, сивушные масла – смесь высших спиртов (изоамилового, изобутилового, амилового, н-про-

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ РЕАКЦИИ СПИРТОВОГО БРОЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАСАДКИ ИЗ СКОРЛУПЫ КЕДРОВОГО ОРЕХА

пилового) и некоторые другие вещества. Образование дрожжами высших спиртов связано с азотистым и углеводным обменами дрожжевых клеток. Высшие спирты участвуют в образовании аромата и вкуса продуктов спиртового брожения. На развитие дрожжей и ход брожения влияют многие факторы: химический состав среды, кислотность сусла, температура брожения и др., изучение которых имеет важное значение.

Количество исследований, посвященных свойствам яблочных вин и сидра, а также их развитию в процессе брожения в последнее время значительно возросло. Большинство этих исследований сосредоточены на аспектах управления ферментацией: изучении стадии созревания, использовании различных сортов яблок, новых штаммов дрожжей и азотистых добавок [6–14]. Известно исследование, в котором сравниваются виноматериалы, полученные из свежесжатого яблочного сока и восстановленного концентрата, получен-

ного из и той же партии отжатого сока [15]. Однако кроме исходного состава сусла и выше названных параметров существенное влияние может оказывать способ сбраживания сусла, например, в аппаратах с насадкой в условиях сверхвысокой концентрации дрожжей. В эксперименте в качестве насадки применили специально подготовленные скорлупки кедрового ореха [16].

Целью настоящей работы явилось исследование кинетики реакции спиртового брожения яблочных виноматериалов с применением насадки из скорлупы кедрового ореха.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследования кинетики реакции спиртового брожения яблочных виноматериалов были выбраны пять образцов (свежесжатое яблочное сусло (СВС), восстановленный яблочный сок из концентрата (ВКС) и три сепажа на их основе), условия брожения которых приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Условия брожения подготовленных образцов сусла

Table 1 – Fermentation conditions for prepared wort samples

Условия брожения		№ подготовленных образцов				
		1	2	3	4	5
Концентрация компонентов сусла, %	СВС*	100	75	50	25	0
	ВКС**	0	25	50	75	100
Способ		периодический				
Раса дрожжей		Salvio Champagne				
Материал насадки		скорлупа кедрового ореха***				
Количество насадки в объеме емкости, %		60				
Температура, °С		18–20				

* – Свежесжатое сусло из сорта яблок «Добрыня»; ** – восстановленный яблочный сок из концентрата; *** – обработана по схеме, представленной в пат. 2783427 [16].

Таблица 2 – Исходные данные для исследования кинетики реакции брожения

Table 2 – Initial data for the study of the kinetics of the alcoholic fermentation reaction

t, ч	№ исследуемых образцов									
	1		2		3		4		5	
	C, об %	C _{на убыль} , об %	C, об %	C _{на убыль} , об %	C, об %	C _{на убыль} , об %	C, об %	C _{на убыль} , об %	C, об %	C _{на убыль} , об %
0	0	8,0	0	8,0	0	8,0	0	8,1	0	8,1
24	0,6	7,4	0,6	7,4	0,5	7,5	0,5	7,6	0,5	7,6
48	1,9	6,1	2,0	6,0	1,7	6,3	2,4	5,7	1,0	7,1
72	3,5	4,5	3,6	4,4	3,0	5,0	4,2	3,9	1,5	6,6
120	6,5	1,5	6,3	1,7	5,4	2,6	4,9	3,2	2,5	5,6
144	7,4	0,6	7,2	0,8	6,1	1,9	5,4	2,7	2,9	5,2
168	7,8	0,2	7,7	0,3	6,5	1,5	5,8	2,0	3,3	4,8
192	8,0	0	8,0	0	6,9	1,1	6,3	1,8	3,7	4,4
216	–	–	–	–	7,3	0,7	7,3	0,8	3,9	4,2
264	–	–	–	–	8,0	0	8,1	0	4,3	3,8
312	–	–	–	–	–	–	–	–	4,6	3,5
576	–	–	–	–	–	–	–	–	6,7	1,4
744	–	–	–	–	–	–	–	–	8,1	0

Кинетику процесса $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2\uparrow$ исследовали по изменению концентрации этилового спирта. Объемную долю этанола в бродящем сусле определяли по общепринятой в виноделии стандартной методике [17]. Анализы выполняли в трех повторениях. Достоверность полученных данных подтверждали общепринятой методикой математической статистики.

В таблице 2 представлены исходные

данные для исследования кинетики реакции брожения на насадке.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Исследованием скорости и механизмов химических процессов занимается химическая кинетика. Измеряют скорость реакции изменением концентрации реагирующего вещества или продукта реакции в единицу времени (основное кинетическое уравнение).

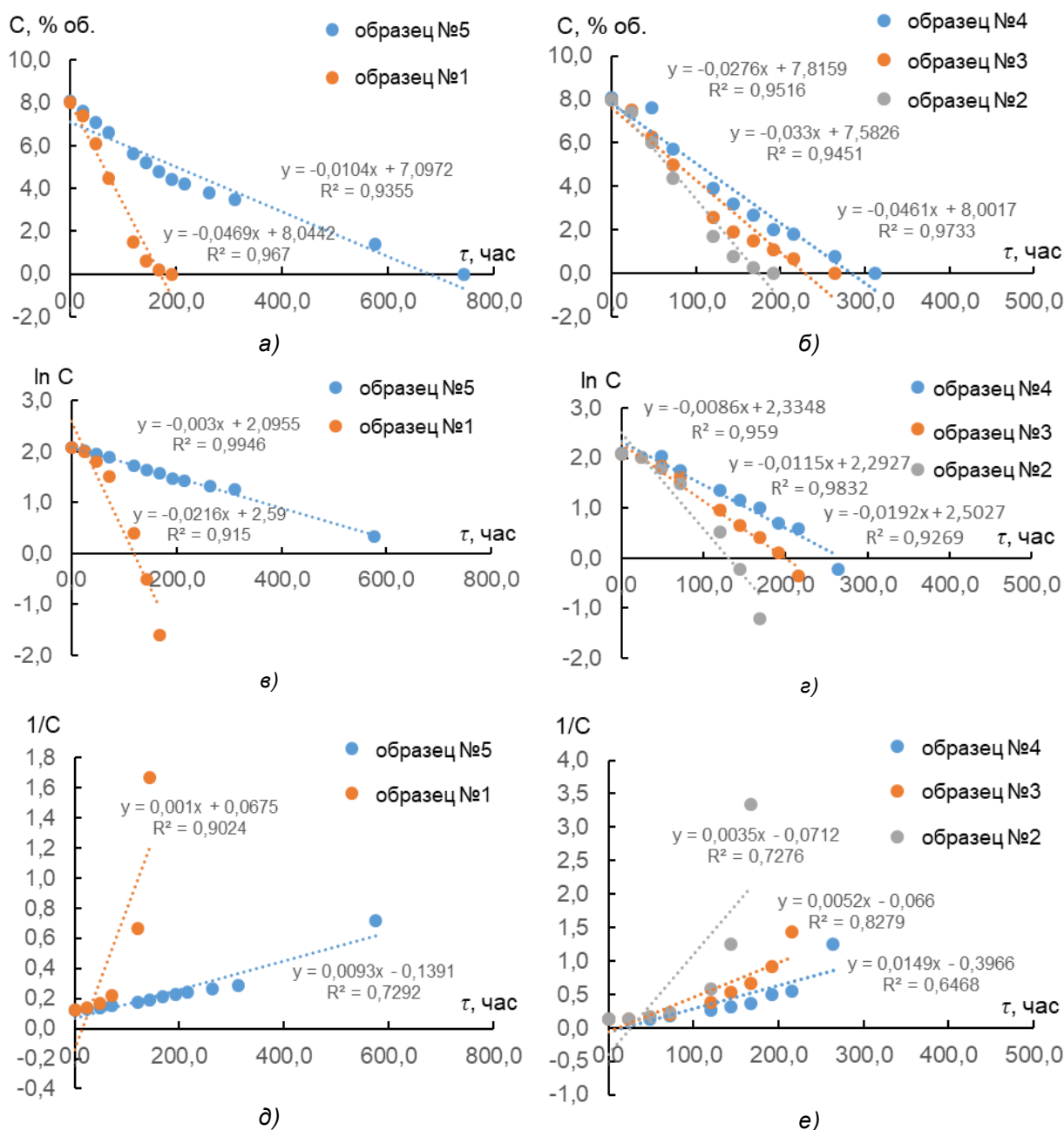


Рисунок 1 – Линейные зависимости интегральной формы основного кинетического уравнения исследованных образцов: а, б – нулевого порядка ($n = 0$); в, г – первого порядка ($n = 1$); д, е – второго порядка ($n = 2$)

Figure 1 – Linear dependencies of the integral form of the main kinetic equation for researching examples: а, б – zero order ($n = 0$); в, г – first order ($n = 1$); д, е – second order ($n = 2$)

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ РЕАКЦИИ СПИРТОВОГО БРОЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАСАДКИ ИЗ СКОРЛУПЫ КЕДРОВОГО ОРЕХА

В любой химической реакции реагенты расходуются (продукты образуются) и поэтому скорость реакции уменьшается. Отсюда следует, что скорость реакции зависит от концентраций реагирующих веществ и её следует относить к какому-то определенному моменту времени. Но для большинства химических реакций, в том числе и реакции спиртового брожения, стехиометрическое уравнение не может дать сведений о зависимости скорости реакции от концентрации. Как правило, эту зависимость определяют экспериментально [18, 19].

Исследование кинетики процесса брожения выполняли, используя интегральные формы основного кинетического уравнения для различных порядков:

$$n = 0 \quad k = \frac{1}{\tau} (C_0 - C_\tau); \quad (1)$$

$$n = 1 \quad k = \frac{1}{\tau} \ln \frac{C_0}{C_\tau}; \quad (2)$$

$$n = 2 \quad k = \frac{1}{\tau} \left(\frac{1}{C_\tau} - \frac{1}{C_0} \right); \quad (3)$$

Реакции третьего встречаются крайне редко и в работе не рассматривались.

Суть используемого метода заключалась в подборе осей, пригодных для описания исследуемого процесса. Интегральную форму основного кинетического уравнения соответствующего порядка линеаризовали и подбирали такие оси, в которых построенная зависимость была бы прямолинейной:

$$n = 0 \quad C_\tau = f(\tau); \quad (4)$$

$$n = 1 \quad \ln C_\tau = f(\tau); \quad (5)$$

$$n = 2 \quad \frac{1}{C_\tau} = f(\tau). \quad (6)$$

По представленным зависимостям на рисунке 1 рассчитаны константы скорости спиртового брожения (табл. 3).

Значения коэффициентов детерминации R^2 (табл. 3) свидетельствуют о том, что реакция спиртового брожения с применением насадки из скорлупы кедрового ореха для образцов 1 и 2 соответствует реакции нулевого порядка. Для образцов 3, 4 и 5 соответствует реакции первого порядка.

Таблица 3 – Значения константы скорости для исследуемых образцов

Table 3 – The values of the rate constant for the studied samples

№ образца	n	k	R ²
1	0	0,0469	0,9670
	1	0,0216	0,9150
	2	0,0010	0,9024
2	0	0,0461	0,9733
	1	0,0192	0,9269
	2	0,0035	0,7276
3	0	0,0330	0,9451
	1	0,0115	0,9832
	2	0,0520	0,8279
4	0	0,0274	0,9516
	1	0,0085	0,9590
	2	0,0149	0,6468
5	0	0,0104	0,9355
	1	0,0030	0,9946
	2	0,0093	0,7292

В работе рассчитано время полупревращения $\tau_{1/2}$ реакции брожения. Под временем полупревращения понимают промежуток времени, в течение которого реагирует половина исходного количества вещества:

$$n = 0 \quad \tau_{1/2} = \frac{C_0}{2k}; \quad (7)$$

$$n = 1 \quad \tau_{1/2} = \frac{0,69}{k}. \quad (8)$$

Результаты исследования кинетики процесса брожения представлены в таблице 4 для пяти образцов.

Таблица 4 – Кинетические параметры реакции брожения

Table 4 – The kinetic parameters of the fermentation reaction

№ образца	n	k, об. % · час ⁻¹	$\tau_{1/2}$, час
1	0	0,0469	85,3
2	0	0,0461	86,8
3	1	0,0085	60,0
4	1	0,0115	81,2
5	1	0,0030	115,0

Известно, что процесс брожения, распад виноградного сахара на две молекулы спирта и две молекулы углекислого газа является многостадийным (состоит из 12 стадий) и относится к реакции нулевого порядка [4]. Скорость реакции нулевого порядка постоянна во

времени и не зависит от концентрации реагирующих веществ. Поэтому скорость исследуемого процесса будет численно равна константе скорости k . Как видно из представленных данных (табл. 4), для образцов, содержащих преимущественно свежавыжатый сок (образцы 1 и 2), порядок реакции брожения равен нулю, а константы скорости и время полупревращения имеют практически одинаковые значения. Скорость образования этилового спирта для образцов 1 и 2 составляет 0,047–0,046 об. % в час, а время полупревращения – 85–86 часов.

Из приведенных данных (табл. 4) видно, с увеличением концентрации восстановленного сока константа скорости реакции брожения и скорость процесса в целом уменьшаются. Время полупревращения увеличивается от 60 до 115 часов пропорционально увеличению содержания восстановленного сока в образцах 3, 4 и 5. Кинетика процесса брожения для вышеуказанных образцов описывается реакцией первого порядка. Данный факт можно объяснить изменением скорости накопления этилового спирта. В отсутствие витамина биотина наблюдали замедление процессов роста и размножения дрожжей, в результате чего их концентрация в объеме была снижена. Таким образом, биотина, вырабатываемого дрожжами, стало недостаточно [20] для обеспечения нормальных условий брожения, и, как результат, наблюдали снижение скорости образования этилового спирта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование в реакции брожения сырья, содержащего преимущественно свежавыжатый сок не менее чем 75 % от общего объема (образцы 1 и 2), позволило прогнозировать наиболее благоприятные условия для получения этилового спирта. Скорость образования этилового спирта составляет при этом 0,047–0,046 об. % в час. Время, в течение которого прореагировало половина исходного количества вещества, – 85–86 часов.

Увеличение концентрации восстановленного сока в образцах 3, 4 и 5 более чем на 50 % нарушает механизм процесса брожения, и реакция идет уже по другому пути по механизму реакции первого порядка. Результатом такого изменения является недостаточное количество образующегося этилового спирта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Химия вина : учеб. / Е.П. Шольц-Куликов [и др.]. Ростов-на-Дону : Издательский центр ДГТУ, 2016. 359 с.
2. Вечер А.С., Юрченко Л.А. Сидры и яблочные игристые вина. Москва : Пищевая промышленность, 1976. 135 с.
3. Мехузла Н.А., Панасюк А.Л. Плодово-ягодные вина. Москва : Легкая и пищевая промышленность, 1984. 240 с.
4. Басканьян И.А., Бирюков В.А., Крылов Ю.М. Математическое описание основных кинетических закономерностей процесса культивирования микроорганизмов // Микробиология. Т. 5. М. : ВИНТИ, 1976. С. 5–75.
5. Климовский Д.Н., Стабников В.Н. Технология спирта : учеб. для технол. специальностей пищевых вузов / Под ред. А.Л. Малченко. 3-е изд. перераб. и доп. Москва : Пищепромиздат, 1960. 515 с.
6. Apple wine processing with different nitrogen contents / A. Alberti [et al.] // Brazilian Archives of Biology and Technology. 2011. Vol. 54. n. 3: P. 551–558. doi:10.1590/S1516-89132011000300017.
7. Impact on chemical profile in apple juice and cider made from unripe, ripe and senescent dessert varieties / A. Alberti [et al.] // LWT Food Sci. Technol. 2016. Vol. 65. P. 436–443. doi: 10.1016/j.lwt.2015.08.045.
8. Kelkar S., Dolan, K. Modeling the effects of initial nitrogen content and temperature on fermentation kinetics of hard cider // Journal of Food Engineering. 2012. Vol. 109. P. 588–596. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2011.10.020.
9. Impact of apple cultivar, ripening stage, fermentation type and yeast strain on phenolic composition of apple ciders / O. Laaksonen [et al.] // Food Chemistry. 2017. Vol. 233. P. 29–37. doi: doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.067.
10. Assessment of yeasts for apple juice fermentation and production of cider volatile compounds / M. Lorenzini [et al.] // LWT Food Sci. Technol. 2019. Vol. 99. P. 224–230. doi: 10.1016/j.lwt.2018.09.075.
11. The effects of apple variety, ripening stage, and yeast strain on the volatile composition of apple cider / J. Rosend [et al.] // Heliyon. 2019. Vol. 5. Issue 6. P. e01953. doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e01953.
12. Yeast performance characterisation in different cider fermentation matrices / J. Rosend [et al.] // Agronomy Research. 2019. Vol. 17. Issue 2. P. 2040–2053. doi: 10.15159/ar.19.178.
13. Supplementation of amino acids in apple must for the standardization of volatile compounds in ciders / C.M.E. Santos [et al.] // Journal of the Institute of Brewing. 2016. Vol. 122. Issue 2. P. 334–341. (In Eng.). doi: 10.1002/jib.318.
14. Исследование биохимического состава плодов яблони Южного Прибайкалья и продуктов виноделия, сброженных на древесной щепе / Г.С. Гусакова [и др.] // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2019. Т. 9. № 4. С. 722–736. Doi: 10.21285/2227-2925-2019-9-4-722-736.

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ РЕАКЦИИ СПИРТОВОГО БРОЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАСАДКИ ИЗ СКОРЛУПЫ КЕДРОВОГО ОРЕХА

15. The effect of apple juice concentration on cider fermentation and properties of the final product / J. Rosend [et al.] // *Foods*. 2020. Vol. 9. P. 1401. doi:10.3390/foods9101401.

16. Способ производства белого яблочного вина: пат. 2783427 Рос. Федерация. № 2021124193; заявл. 16.08.2021; опубл. 14.11.2022, Бюл. № 32. 9 с.

17. Гержикова В.Г. Методы теххимического контроля в виноделии : 2-е изд., перераб. и доп. Симферополь: Таврида, 2009. 304 с.

18. Тишин В.Б., Головинская О.В. Эксперимент и поиск математических моделей кинетики биологических процессов : учеб. пособие. СПб. : Университет ИТМО; ИХиБТ, 2015. 111 с.

19. Романовский Б.В. Основы химической кинетики : учеб. Москва : Изд-во «Экзамен», 2006. 415 с.

20. Тишин В.Б., Аль Асаад Кусай М., Ххалил, М.М. Исследование влияния некоторых факторов на кинетику роста дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* при периодическом культивировании // Вестник международной академии холода. 2007. № 1. С. 44–47.

Информация об авторах

Н. П. Супрун – аспирант кафедры химии и биотехнологии В.В. Тутуриной, Иркутского национального исследовательского технического университета, +79016324182.

Г. С. Гусакова – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры химии и биотехнологии В.В. Тутуриной, Иркутского национального исследовательского технического университета, +79500647028.

Е. Г. Филатова – кандидат технических наук, доцент кафедры химии и биотехнологии В.В. Тутуриной, Иркутского национального исследовательского технического университета, +79501408205.

REFERENCES

1. Scholz-Kulikov, E.P., Ivanchenko, K.V., Ermolin, D.V. & Geok, V.N. (2016). *Chemistry of wine*: textbook. Rostov-on-Don: DSTU Publishing Center. (In Russ.)

2. Vecher, A.S. & Yurchenko, L.A. (1976). *Ciders and apple sparkling wines*. Moscow: Food industry. (In Russ.).

3. Mekhuzla, N.A. & Panasyuk, A.L. (1984). *Fruit wines*. Moscow: Light industry and food industry. (In Russ.).

4. Baskanyan, I.A., Biryukov, V.A. & Krylov, Yu.M. (1976). Mathematical description of the main kinetic regularities of the microorganisms cultivation process. *Microbiology*, (5), 5-75. (In Russ.).

5. Klimovsky, D.N., Stabnikov, V.N. (1960). *Technology of alcohol*: textbook for technol. specialty / ed. Malchenko, A.L. 3rd ed. Moscow: Pishchepromizdat. (In Russ.).

6. Alberti, A., Vieira, R.G., Drilleau, J.F., Wosiacki, G. & Nogueira, A. (2011). Apple wine processing with different nitrogen contents. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, (54), 551-558. (In Eng.). doi:10.1590/S1516-89132011000300017.

7. Alberti, A., Santos, T.P.M., Ferreira Zielinski, A.A., Santos, C.M.E., Braga, C.M., Demiante, I.M. & Nogueira, A. (2016). Impact on chemical profile in apple juice and cider made from unripe, ripe and senescent dessert varieties. *LWT Food Sci. Technol.* (65), 436-443. (In Eng.). doi: 10.1016/j.lwt.2015.08.045.

8. Kelkar, S. & Dolan, K. (2012). Modeling the effects of initial nitrogen content and temperature on fermentation kinetics of hard cider. *Journal of Food Engineering*, 109(3), 588-596. (In Eng.). doi: 10.1016/j.jfoodeng.2011.10.020.

9. Laaksonen, O., Kuldj arv, R., Paalme, T., Virkki, M. & Yang, B. (2017). Impact of apple cultivar, ripening stage, fermentation type and yeast strain on phenolic composition of apple ciders. *Food Chemistry*, 233, 29-37. (In Eng.). doi: doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.067.

10. Lorenzini, M., Simonato, B., Slaghenaufi, D., Ugliano, M. & Zapparoli, G. (2019). Assessment of yeasts for apple juice fermentation and production of cider volatile compounds. *LWT Food Sci. Technol.* 99, 224-230. (In Eng.). doi: 10.1016/j.lwt.2018.09.075.

11. Rosend, J., Kuldj arv, R., Rosenvald, S. & Paalme, T. (2019). The effects of apple variety, ripening stage and yeast strain on the volatile composition of apple cider. *Heliyon*, 5(6), e01953. (In Eng.). doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e01953.

12. Rosend, J., Kuldj arv, R., Arju, G. & Nisamedtinov, I. (2019). Yeast performance characterisation in different cider fermentation matrices. *Agronomy Research*, 17(5), 2040-2053. (In Eng.). doi: 10.15159/ar.19.178.

13. Santos, C.M.E.D., Alberti, A., Pietrowski, G.D.A.M., Zielinski, A.A.F., Wosiacki, G., Nogueira, A. & Jorge, R.M.M. (2016). Supplementation of amino acids in apple must for the standardization of volatile compounds in ciders. *Journal of the Institute of Brewing*, 122(2), 334-341. (In Eng.). doi: 10.1002/jib.318.

14. Gusakova, G.S., Suprun, N.P., Rachenko, M.A., Chesnokova, A.N., Chuparina, E.V., Nemchinova, A.I. & Makarov, S.S. (2019). Study of the biochemical composition of fruits of the Southern Baikal apple tree and its wine products fermented on wood chips. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*, 9 (4), 22-736. (In Russ.). doi: 10.21285/2227-2925-2019-9-4-722-736.

15. Rosend, J., Kaleda, A., Kuldj arv, R., Arju, G. & Nisamedtinov, I. (2020). The effect of apple juice concentration on cider fermentation and properties of the final product. *Foods*, (9), 1401. (In Eng.). doi:10.3390/foods9101401.

16. Suprun, N.P., Puldi, V.V., Gusakova, G.S. & Evstafiev, S.N. (2022). Method for production of white apple wine. Pat. 2783427. *Russian Federation, published on 14.11.2022*. Bull. No. 32. (In Russ.).

17. Gerzhikova, V.G. (2009). *Methods of technochemical control in winemaking*: 2nd ed., Simfero-

pol: Taurida. (In Russ.).

18. Tishin, V.B. & Golovinskaya, O.V. (2015). *Experiment and search for mathematical models of the kinetics of biological processes: Proc. allowance*. St. Petersburg: ITMO University; IKhiBT. (In Russ.).

19. Romanovsky, B.V. (2006). *Fundamentals of chemical kinetics: textbook*. Moscow: Exam Publishing House. (In Russ.).

20. Tishin, V.B., Al Asaad Kusay, M. & Khalil, M.M. (2007). Study of the influence of some factors on the growth kinetics of the yeast *Saccharomyces cerevisiae* during batch cultivation. *Bulletin of the International Academy of Cold*, (1), 44-47. (In Russ.).

Information about the authors

N.P. Suprun - postgraduate student of the Department of Chemistry and Biotechnology named after V.V. Taturina of Irkutsk National Research Technical University, +79016324182.

G.S. Gusakova - Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Chemistry and Biotechnology named after V.V. Taturina of Irkutsk National Research Technical University, +79500647028.

E.G. Filatova - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemistry and Biotechnology named after V.V. Taturina of Irkutsk National Research Technical University, +79501408205.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 17 февраля 2023; одобрена после рецензирования 18 сентября 2023; принята к публикации 20 ноября 2023.

The article was received by the editorial board on 17 Feb 2023; approved after editing on 18 Sep 2023; accepted for publication on 20 Nov 2023.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК664.681.9
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.002



ВЛИЯНИЕ НЕТРАДИЦИОННЫХ ВИДОВ МУКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ КЕКСОВ

Нина Ивановна Мячикова ¹, Юрий Алексеевич Болтенко ²,
Яна Викторовна Чуркина ³, Елена Николаевна Елисеева ⁴

1, 2, 3, 4 Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

¹ myachikova@bsu.edu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7997-0605>

² boltenko@bsu.edu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2183-2263>

³ churkina_ya@bsu.edu.ru

⁴ en.eliseeva@yandex.ru

Аннотация. Мучные кондитерские изделия пользуются большим спросом у потребителей. Вместе с тем для людей с непереносимостью глютена эта группа продукции, вырабатываемая преимущественно с использованием пшеничной муки, запрещена к употреблению. В связи с этим возникает потребность в разработке мучных кондитерских изделий, из рецептуры которых исключена пшеничная мука. Проведенные исследования связаны с изучением влияния нетрадиционных видов муки (рисовой и гречневой из зеленой гречки) на формирование потребительских свойств кексов. На основании проведенного экспертного анализа существующих рецептур кексов, который позволил выявить определяющие компоненты их рецептур и соответствующих расчетов, была разработана типовая технологическая модель кекса. По результатам проведенных аналитических исследований были определены два вида муки, наиболее предпочтительные по своим свойствам при разработке безглютеновых мучных кондитерских изделий – рисовая и гречневая из зеленой гречки. Эти исследования стали основой для разработки проектов рецептур кексов с использованием нетрадиционных видов муки. Проведен сравнительный анализ пищевой ценности, показателей качества (физико-химических, органолептических, реологических) разработанных образцов кексов с использованием нетрадиционных видов муки в сравнении с контрольным образцом. Установлено, что образец, в котором мука пшеничная заменена на смесь муки рисовой и муки гречневой из зеленой гречки в соотношении 1 : 1, по своим характеристикам соответствует требованиям стандарта и практически не уступает контрольному образцу. Разработанная продукция позволяет расширить ассортимент мучных кондитерских изделий для людей с непереносимостью глютена.

Ключевые слова: кекс безглютеновый, рисовая мука, мука гречневая из зеленой гречки, химический состав, пищевая ценность, органолептические показатели, физико-химические показатели, реологические характеристики.

Для цитирования: Влияние нетрадиционных видов муки на формирование потребительских свойств кексов / Н. И. Мячикова [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 4, С. 15–23. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.002. EDN: <https://elibrary.ru/BLXPYD>.

Original article

INFLUENCE OF NON-TRADITIONAL FLOURS ON THE FORMATION OF CONSUMER PROPERTIES OF CUPCAKES

Nina I. Myachikova¹, Yuriy A. Boltenko², Yana V. Churkina³, Elena N. Eliseeva⁴

^{1, 2, 3, 4} Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

¹ myachikova@bsu.edu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7997-0605>

² boltenko@bsu.edu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2183-2263>

³ churkina_ya@bsu.edu.ru

⁴ en.eliseeva@yandex.ru

Abstract. Flour confectionery products are in great demand among consumers. However, for people with gluten intolerance, this group of products which produced mainly using wheat flour is prohibited. Due to this, there is a need to develop flour confectionery products, in formulation of which there is no wheat flour. The conducted studies are related to the study of the influence of non-traditional types of flour (rice flour and buckwheat flour made from green buckwheat) on the formation of consumer properties of cupcakes. A typical technological model of a cupcake was developed based on an expert analysis of existing cupcake recipes (which made it possible to identify the defining components of a cupcake recipe), and the corresponding calculations. According to the results of the analytical studies, two types of flour were identified that are most preferable in terms of their properties in the development of gluten-free flour confectionery products. These are rice flour and buckwheat flour made from green buckwheat. These studies became the basis for the development of projects for cupcake recipes using non-traditional types of flour. A comparative analysis of the nutritional value, quality indicators (physico-chemical, organoleptic, rheological) of the developed samples of cupcakes using non-traditional types of flour was carried out in comparison with the control sample. It has been established that the sample in which wheat flour is replaced by a mixture of rice flour and buckwheat flour made from green buckwheat in a ratio of 1: 1 meets the requirements of the standard and almost indistinguishable control sample in its characteristics. The developed products allow expanding the range of flour confectionery products for people with gluten intolerance.

Keywords: gluten-free cupcake, rice flour, buckwheat flour made from green buckwheat, chemical composition, nutritional value, organoleptic indicators, physico-chemical indicators, rheological indicators.

For citation: Myachikova, N.I., Boltenko, Yu.A., Churkina, YA.V. & Eliseeva, E.N. (2023). Influence of non-traditional flours on the formation of consumer properties of cupcakes. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 15-23. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.002. EDN: <https://elibrary.ru/BLXPYD>.

ВВЕДЕНИЕ

Мучные кондитерские изделия принадлежат к категории продукции регулярного потребления. Они занимают второе место по объему производства в кондитерской промышленности. Глобальный рынок мучных кондитерских изделий является растущим и, безусловно, перспективным для российских производителей [1]. В 2021 г. в Российской Федерации потребление мучных кондитерских изделий на человека было около 12,1 кг/чел. Это составляет примерно половину от всех кондитерских изделий, потребляемых одним человеком [2]. Вместе с тем следует отметить, что данная группа кондитерских изделий недоступна людям, страдающим целиакией.

«Целиакия в современной медицине рассматривается как аутоиммунная энтеропатия, возникающая вследствие приема глютена у лиц с генетической предрасположенностью (лейкоцитарный антиген человека (HLA) -DQ2 или -DQ8), характеризующаяся наличием специфических антител» [3].

Научными исследованиями доказано, что единственным приемлемым способом лечения целиакии является присутствие в рационе только безглютеновых продуктов, в том числе и мучных кондитерских изделий, на протяжении всей жизни [4]. Как отмечают авторы [5], «современные тенденции формирования ассортимента безглютеновых мучных кондитерских изделий базируются на использовании разнообразных видов муки, не име-

ВЛИЯНИЕ НЕТРАДИЦИОННЫХ ВИДОВ МУКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ КЕКСОВ

ющих в составе глютена – клейковинообразующих белков (рисовой, кукурузной, гречневой, льняной, конопляной и других), а также на приготовлении двух- и многокомпонентных смесей из них».

Таким образом, были выделены следующие предпосылки для проведения исследований:

- мучные кондитерские изделия пользуются популярностью у потребителей;
- для отдельных групп потребителей, в частности, страдающих непереносимостью глютена, эта группа продуктов долгое время находилась под запретом. Это связано с тем, что основным рецептурным компонентом является пшеничная мука, запрещенная в питании людей с целиакией;

- в последнее время в этом направлении проделано много работы, разработаны рецептуры мучных кондитерских для людей с непереносимостью глютена;

- однако рынок еще не насыщен, следовательно, целесообразно проводить исследование в направлении разработки новых видов мучных кондитерских изделий, предназначенных для безглютенового питания.

Цель исследования – изучение влияния нетрадиционных видов муки на формирование потребительских свойств кексов.

Таким образом, в задачи исследования входила оценка показателей качества (физико-химических, органолептических, реологических) разработанных образцов кексов с использованием нетрадиционных видов муки в сравнении с контрольным образцом и выбор наиболее близкого к контрольному образцу.

МЕТОДЫ

Как объекты исследования были использованы мука рисовая (ТУ 10.61.2-009-38902797-2019), мука гречневая из зеленой гречки (ТУ 9293-002-43175543-03) и готовые образцы кексов:

- контрольный образец – кекс «Столичный», изготовленный по традиционной рецептуре;

- образец 1 – кекс безглютеновый из смеси муки гречневой из зеленой гречки и муки рисовой в соотношении 1 : 1;

- образец 2 – кекс безглютеновый из смеси муки гречневой из зеленой гречки и муки рисовой в соотношении 1 : 3.

Оценку показателей качества осуществляли, используя стандартные методики:

- органолептические показатели – по ГОСТ 5897-90 [6];

- плотность кексов – по ГОСТ 15810-2014 [7];

- пористость – по ГОСТ 5669-96 [8];

- массовую долю влаги – по ГОСТ 5900-2014 [9].

Для определения реологических характеристик кексов использовали «Структурометр СТ-2».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Разработке проекта рецептуры кекса безглютенового предшествовал анализ существующих рецептур кексов, который позволил выявить определяющие компоненты рецептуры, то есть основное сырье, характерное для рецептур кексов, и вспомогательное.

По результатам проведенных аналитических исследований были определены два вида муки, наиболее предпочтительные по своим свойствам при разработке безглютеновых мучных кондитерских изделий – рисовая и гречневая из зеленой гречки. Важным показателем рецептурных компонентов для разработки безглютеновых продуктов питания является их пищевая ценность, в связи с чем была проведена сравнительная оценка используемых видов муки (табл. 1).

С точки зрения пищевой ценности мука гречневая из зеленой гречки характеризуется большим содержанием белков по сравнению с остальными видами муки, меньшим содержанием углеводов и меньшей энергетической ценностью, что является актуальным для современных потребителей.

Таблица 1 – Пищевая и энергетическая ценность исследуемых видов муки (на 100 г) [10]

Table 1 – Nutritional and energy value of the studied types of flour (per 100 g)

Наименование компонента	Единицы измерения	Содержание компонента		
		пшеничная высшего сорта	рисовая	гречневая из зеленой гречки
Белки	г	10,8	6,0	12,6
Жиры	г	1,3	1,4	3,3
Углеводы	г	69,9	80,1	57,0
Энергетическая ценность	ккал	334,0	357,0	310,0

В соответствии с научно обоснованной концепцией полноценного питания биологическая ценность продуктов определяется не только наличием и массовой долей отдельных аминокислот, но, главным образом, их сбалансированностью. «Качество белка можно оценивать, сравнивая его аминокислотный состав с составом стандартного (идеального) белка. Такой расчет называют аминокислотным скором» [10].

Анализ данных, представленных в работе [11], показывает, что для белка муки гречневой из зеленой гречки первой лимитирующей аминокислотой является лейцин (аминокислотный скор – 87,1). Для белка рисовой муки, как и пшеничной, первой лимитирующей аминокислотой является лизин (аминокислотный скор – 69,1), однако аминокислотный скор по данной аминокислоте для рисовой муки в 1,4 раза выше, чем для пшеничной (аминокислотный скор – 48,2). В то же время обращает на себя внимание высокое содержание в рисовой муке лейцина (аминокислотный скор – 125,7), который является лимитирующей аминокислотой для муки гречневой из зеленой гречки. В целом сумма незаменимых аминокислот составляет (г/100 г белка): эталон ФАО/ВОЗ – 36, мука пшеничная –

33,02, мука рисовая – 37,26, мука гречневая из зеленой гречки – 36,9. Таким образом, взятые для исследований мука рисовая и гречневая из зеленой гречки по сумме незаменимых аминокислот превышают эталон ФАО/ВОЗ, а также традиционно используемую пшеничную муку. Кроме того, следует отметить, что для выбранных безглютеновых образцов муки по сравнению с традиционно используемой пшеничной мукой характерен более сбалансированный аминокислотный состав.

Сравнительный анализ витаминного и минерального состава [12] показывает, что исследуемые безглютеновые виды муки по сравнению с пшеничной мукой содержат больше витаминов В₁, В₂ (гречневая мука), РР (рисовая и гречневая мука). Рисовая мука отличается повышенным содержанием натрия, магния, фосфора, однако значительно уступает пшеничной по содержанию калия и незначительно – кальция и железа. В гречневой муке содержится больше калия, кальция, магния, фосфора и железа.

Помимо пищевой и биологической ценности, при производстве мучных кондитерских изделий важны также технологические свойства муки (табл. 2).

Таблица 2 – Физико-химические свойства исследуемых образцов муки

Table 2 – Technological properties of the studied flour samples

Показатель	Вид муки		
	пшеничная высшего сорта	рисовая	гречневая из зеленой гречки
Массовая доля влаги, %	14,0±0,2	12,1±0,2	14,1±0,2
Белизна, у.е.	56,5±1,2	61,4±2,4	27,4±1,1

Для потребителей одним из важных органолептических показателей является цвет готовых изделий, который определяется в том числе и цветом муки. Цвет муки в значительной степени определяется цветом эндосперма зерновой культуры, из которой она произведена. Проведенные исследования показывают, что по сравнению с пшеничной мукой белизна рисовой муки несколько выше, а для гречневой муки из зеленой гречки этот показатель более чем в 2 раза ниже.

Таким образом, учитывая, что безглютеновая продукция характеризуется несбалансированным химическим составом, что не позволяет ликвидировать дефицитные состояния пищевых веществ у больных целиакией, а также согласно проведенному анализу ис-

следуемых безглютеновых видов муки установлено, что невозможно добиться оптимальных потребительских свойств разрабатываемого мучного кондитерского изделия, используя один вид муки. Следовательно, при разработке рецептур необходимо предусматривать их сочетание.

На основании проведенных анализа и расчетов разработали проекты рецептур кексов (табл. 3).

Технология производства безглютенового кекса практически не отличается от технологии производства контрольного образца, происходит только замена муки.

Исследуемые образцы оценивали, сравнивая физико-химические, органолептические и реологические показатели.

**ВЛИЯНИЕ НЕТРАДИЦИОННЫХ ВИДОВ МУКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ
ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ КЕКСОВ**

Таблица 3 – Рецептуры кексов

Table 3 – Cupcake recipes

Наименование сырья	Мас- совая доля сухих веществ, %	Расход сырья на 10 кг готовых изделий, г					
		контрольный образец		образец 1		образец 2	
		в натуре	в сухих веще- ствах	в натуре	в сухих веще- ствах	в натуре	в сухих веще- ствах
Мука пшеничная высшего сорта	85,50	3120,00	2667,60	0,00	0,00	0,00	0,00
Сахар-песок	99,85	2340,00	2336,49	2340,00	2336,49	2340,00	2336,49
Масло сливочное	84,00	2340,00	1965,60	2340,00	1965,60	2340,00	1965,60
Меланж	27,00	1870,00	504,90	1870,00	504,90	1870,00	504,90
Соль	96,50	10,00	9,65	10,00	9,65	10,00	9,65
Изюм	80,00	2340,00	1872,00	2340,00	1872,00	2340,00	1872,00
Пудра рафинадная	99,85	110,00	109,84	110,00	109,84	110,00	109,84
Эссенция	0,00	10,00	0,00	10,00	0,00	10,00	0,00
Разрыхлитель	93,70	10,00	9,37	10,00	9,37	10,00	9,37
Мука рисовая	88,00	0,00	0,00	1533,10	1349,13	2286,51	2012,13
Мука гречневая из зеленой гречки	86,00	0,00	0,00	1533,10	1318,47	762,17	655,47
Итого		12150,00	9475,45	12096,20	9475,45	12078,68	9475,45
Выход	88,00	10000,00	8800,0	10000,00	8800,0	10000,00	8800,0

Сравнительный анализ пищевой ценности кексов показал, что образцы безглютеновых кексов только по содержанию белков, жиров и углеводов практически находятся на одном уровне с контрольным образцом. Содержание белков в образце 1 составляет 5,64 %, в образце 2 – 5,15 % (контрольный образец – 6,08 %); содержание жиров –

21,19 % и 21,05 % соответственно, в образце 1 и 2 (контрольный образец – 20,88 %); содержание углеводов – 58,48 % и 60,19 % в образцах 1 и 2 соответственно (контрольный образец – 58,88 %). В то же время по минеральному (рис. 1) и витаминному составу (рис. 2) безглютеновые кексы превосходят контрольный образец.

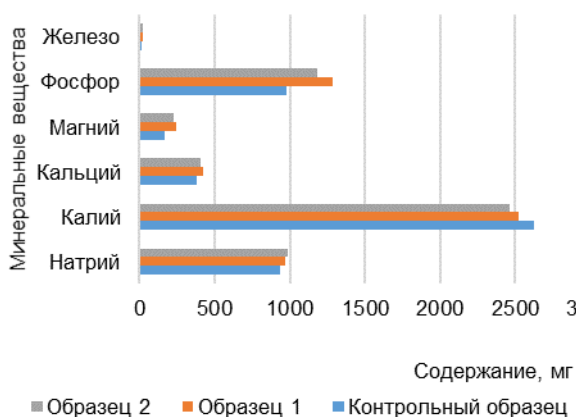


Рисунок 1 – Минеральный состав исследуемых образцов кексов
Figure 1 – Mineral composition of the studied samples of cupcakes

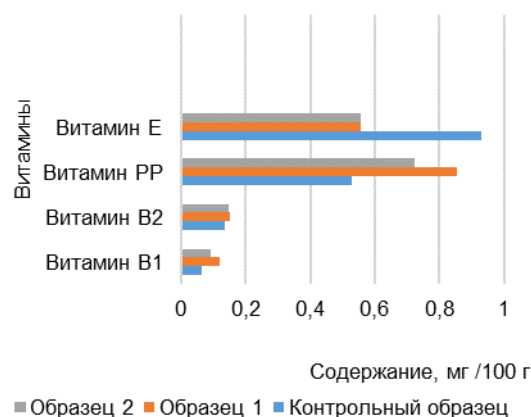


Рисунок 2 – Витаминный состав исследуемых образцов кексов
Figure 2 – Vitamin composition of the studied samples of cupcakes

Результаты анализа физико-химических показателей кексов на соответствие требованиям стандарта (табл. 4) показывают следующее:

- в образце 1 плотность наиболее приближена к стандартной;

- массовая доля влаги находится в пределах стандартных значений для всех образцов;

- образец 1 характеризуется большей пористостью по сравнению с образцом 2.

Таблица 4 – Физико-химические показатели кексов

Table 4 – Physical and chemical indicators of cupcakes

Показатель	Требования ГОСТ 15052-2014 «Кексы. Общие технические условия»	Образцы кексов		
		контроль	образец 1	образец 2
Массовая доля влаги, %	12,0-24,0	18,6	14,7	13,9
Плотность, г/см ³	не более 0,55	0,54	0,56	0,59
Пористость, %	–	51,06	47,96	41,20

Реологические характеристики кексов определяли с помощью прибора «Структурометр СТ-2». Из деформационных характеристик при оптимальном установленном

усилии нагружения индентора определяли общую, пластическую и упругую деформации мякиша кексов (рис. 3).

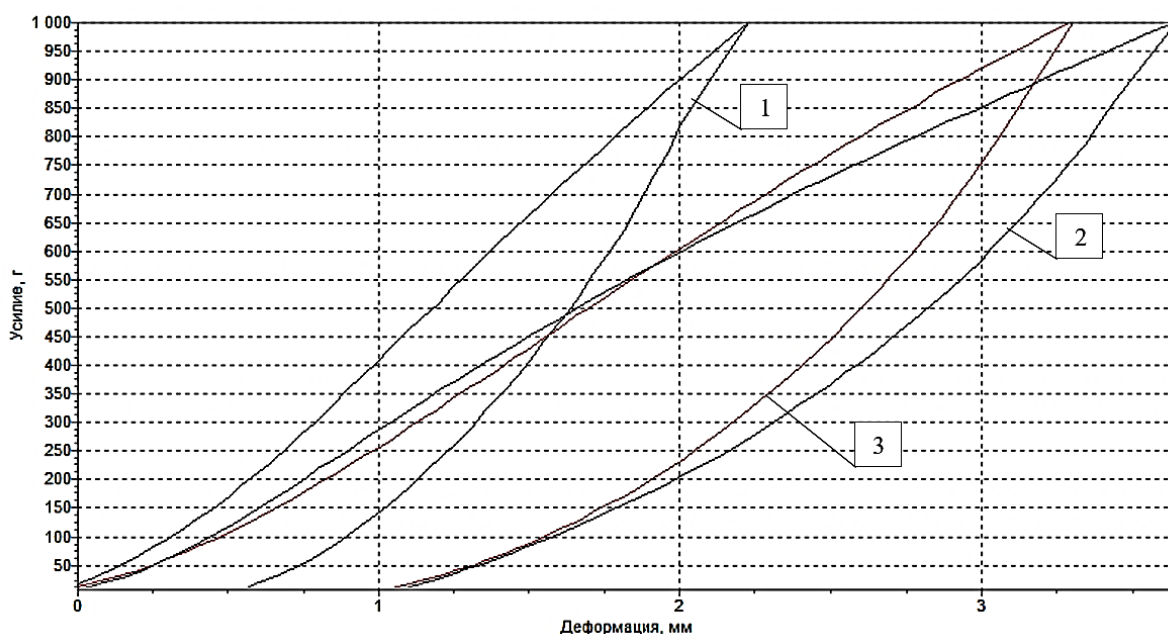


Рисунок 3 – Диаграмма нагружения кексов (мякиш) в зависимости от рецептуры:
1 – контрольный образец; 2 – образец 1; 3 – образец 2

Figure 3 – Loading diagram for cupcakes (crumb) depending on the recipe:
1 – control sample; 2 – sample 1; 3 – sample 2

Анализ представленных на рисунке 3 данных доказывает, что при одинаковом усилии нагружения индентора степень деформации образца 1 на 63,8 % (в 1,6 раз), а образца 2 на 48,5 % (почти в 1,5 раза) больше по сравнению с контрольным образцом, что свидетельствует об их более мягкой консистенции.

За один из реологических критериев, с помощью которого можно оценивать реологическое поведение кексов, было принято

отношение пластической деформации к общей [13]. При этом установлено, что этот показатель составляет для контрольного образца 0,242, для образца 1 – 0,289, для образца 2 – 0,310. Таким образом, анализ характера деформации (рис. 4) показывает, что наименьшая пластическая деформация, а соответственно наибольшая упругая, характерны для контрольного образца. Наибольшая пластическая, а соответственно наименьшая упругая деформация, характер-

ВЛИЯНИЕ НЕТРАДИЦИЦИОННЫХ ВИДОВ МУКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ КЕКСОВ

на для образца 2. Образец 1 занимает промежуточное положение. При этом следует отметить незначительные различия для значений пластической и упругой деформации образцов 1 и 2 и значительные – для контрольного образца по сравнению с образцами 1 и 2.

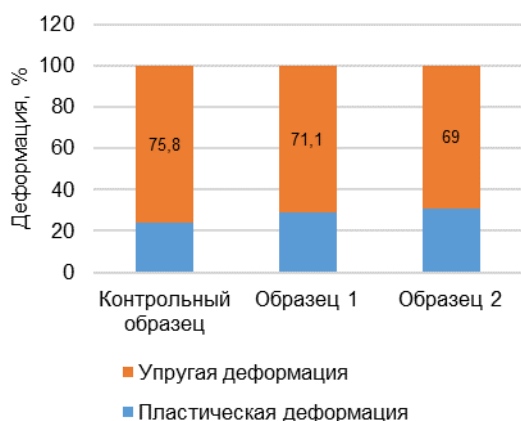


Рисунок 4 – Влияние различных видов муки на общую, пластическую и упругую деформации мякиша кексов

Figure 4 – The influence of different types of flour on the overall, plastic and elastic deformation of the cupcake crumb

Эти различия можно объяснить особенностями химического состава, а, значит, и технологических свойств муки, используемой для приготовления контрольного и исследуемых образцов. Реологические свойства контрольного образца, в том числе упругость, обусловлены присутствием в составе пшеничной муки белков глиадина и глютенина, которые, поглощая при замешивании теста воду, образуют связную упругую, пластичную, способную растягиваться массу, называемую клейковиной. В процессе выпечки за счет присутствия химических разрыхлителей происходит увеличение объема и в дальнейшем в изделиях образуется сухой пористый, эластичный мякиш.

В рисовой и гречневой муке белки, способные образовывать клейковину, отсутствуют, что, соответственно, оказывает влияние на структурно-механические свойства, в частности, увеличивается показатель пластической и снижается показатель упругой деформации.

Не менее важны органолептические показатели, особенно для потребителей, которые предпочитают полезные продукты, но не готовы жертвовать вкусом. Оценивая органо-

лептические показатели (рис. 5), учитывали требования ГОСТ 15052-2014 [14].

Результаты показывают, что образцы безглютеновых кексов характеризуются хорошими органолептическими показателями, которые незначительно отличаются от требований стандарта.

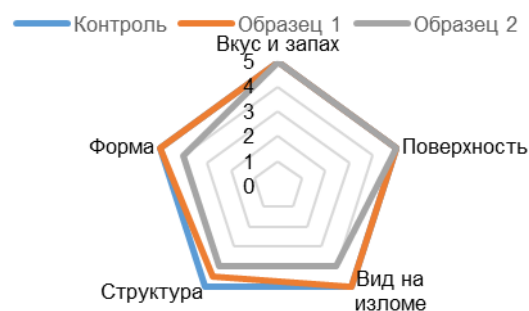


Рисунок 5 – Органолептический профиль исследуемых образцов кексов

Figure 5 – Organoleptic profile of the studied cupcake samples

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, анализ литературных источников позволил определить безглютеновые виды муки (мука рисовая и мука гречневая из зеленой гречки), которые в разных соотношениях были включены в рецептуру кекса. На основании комплекса проведенных исследований физико-химических, реологических и органолептических показателей исследуемых образцов безглютеновых кексов установлено, что в совокупности лучшие показатели характерны для образца 1, в рецептуре которого применяется смесь муки гречневой из зеленой гречки и муки рисовой в соотношении 1 : 1. При этом замена в рецептуре кекса муки пшеничной на безглютеновые виды муки (гречневую и рисовую) позволяет получить готовые изделия, которые характеризуются комплексом физико-химических, органолептических и реологических показателей на уровне требований стандарта. Разработанная продукция может быть рекомендована для людей с непереносимостью глютена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Точиева Л. Кондитерская отрасль России в первом полугодии 2022 года // Российский продовольственный рынок. 2022. № 3. URL : <https://foodmarket.spb.ru/archive/2022/222458/222461/> (дата обращения: 01.03.2023).
2. Мучные кондитерские изделия : обзор

ВЭД. 2022. URL : <https://aemcx.ru/> (дата обращения: 04.04.2023).

3. Целиакия / Л.И. Жусупбекова [и др.] // Научное обозрение. Медицинские науки. 2020. № 6. С. 44–49; URL : <https://science-medicine.ru/ru/article/view?id=1153> (дата обращения: 06.04.2023).

4. Recent Progress and Recommendations on Celiac Disease from the Working Group on Prolamin Analysis and Toxicity / K.A Scherf [et al.] // *Frontiers in Nutrition*. 2020. Vol. 7. P. 29. doi:10.3389/fnut.2020.00029.

5. Козубаева Л.А., Кузьмина С.С. Современные тенденции формирования ассортимента безглютеновых мучных кондитерских изделий // *Ползуновский вестник*. 2022. Т. 1. № 4. С. 57–67. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.04.007. EDN: <https://elibrary.ru/LFMEJT>.

6. ГОСТ 5897-90. Изделия кондитерские. Методы определения органолептических показателей качества, размеров, массы нетто и составных частей. 1992-01-01. URL : <https://docs.cntd.ru/document/1200103472> (дата обращения: 04.04.2023).

7. ГОСТ 15810-2014. Изделия кондитерские. Изделия пряничные. Общие технические условия. 2016-01-01. URL : <https://docs.cntd.ru/document/1200112017> (дата обращения: 04.04.2023).

8. ГОСТ 5669-96. Хлебобулочные изделия. Метод определения пористости. 1997-08-01. URL : <https://docs.cntd.ru/document/1200022325> (дата обращения: 04.04.2023).

9. ГОСТ 5900-2014. Изделия кондитерские. Методы определения влаги и сухих веществ. 2016-07-01. URL : <https://docs.cntd.ru/document/1200119064> (дата обращения: 04.04.2023).

10. Лысыков Ю.А. Аминокислоты в питании человека // *Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология*. 2012. № 02. С. 88–105.

11. Санжаровская Н.С., Храпко О.П., Коломиец В.И. Разработка безглютенового печенья с улучшенными потребительскими свойствами // *Ползуновский вестник*. 2021. № 3. С. 61–67. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.03.008.

12. Скурихин И.М., Тутельян В.А. Химический состав российских продуктов питания : Справочник. Москва : ДеЛиПринт, 2002. 236 с.

13. Болтенко Ю.А. Разработка реологических критериев управления свойствами пшеничного теста и качеством хлебобулочных изделий: дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2010. 26 с.

14. ГОСТ 15052-2014 «Кексы. Общие технические условия». 2016-07-01. URL : <https://docs.cntd.ru/document/1200114735> (дата обращения: 04.04.2023).

Информация об авторах

Н. И. Мячикова – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии продуктов питания Белгородского государственного национального исследовательского университета.

Ю. А. Болтенко – кандидат технических наук, и.о. зав. кафедрой технологии продуктов питания Белгородского государственного национального исследовательского университета.

Я. В. Чуркина – ассистент кафедры технологии продуктов питания Белгородского государственного национального исследовательского университета.

Е. Н. Елисеева – магистрант направления подготовки «Технология продукции и организация общественного питания» кафедры технологии продуктов питания Белгородского государственного национального исследовательского университета.

REFERENCES

1. Tochieva, L. (2022). Russian confectionery industry in the first half of 2022. *Russian food market*. (3). Retrieved from <http://https://foodmarket.spb.ru/archive/2022/222458/222461/>. (In Russ.).

2. Flour confectionery: an overview of foreign economic activity (2022). Retrieved from <http://https://aemcx.ru/>. (In Russ.).

3. Zhusupbekova, L.I., Abzulnina, D.E., Ibraeva, A.K., Dzhaksalykova, K.K. & Muhamedzhanova, A.A. (2020). Celiac Disease. *Scientific review. Medical sciences*. (6), 44-49. Retrieved from <https://science-medicine.ru/ru/article/view?id=1153>. (In Russ.).

4. Scherf, R.F., Catassi, C., Chirido, F., Ciclitira, P.J. [et al.]. (2020). Recent Progress and Recommendations on Celiac Disease from the Working Group on Prolamin Analysis and Toxicity. *Frontiers in Nutrition*. (7), (In English). doi: 10.3389/fnut.2020.00029.

5. Kozubaeva, L.A. & Kuz'mina, S.S. (2022). Modern trends in the formation of an assortment of gluten-free flour confectionery products. *Polzunovskiy vestnik*, 4(1), 57-67. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.04.007. EDN: <https://elibrary.ru/LFMEJT>. (дата обращения 06.04.2023). EDN: <https://elibrary.ru/LFMEJT>.

6. Interstate council for standardization, metrology and certification. (1992). Confectionery. Methods for determination of organoleptic quality indices, sizes, net-mass and components. (HOST 5897-90). Retrieved from. <https://docs.cntd.ru/document/1200103472>. (In Russ.).

7. Interstate council for standardization, metrology and certification. (2016). Confectionery. Gingerbread confectionery. General specification. (HOST 15810-2014). Retrieved from. <https://docs.cntd.ru/document/1200112017>. (In Russ.).

8. Interstate council for standardization, metrology and certification. (1997). Bakery products. Method for determination of porosity. (HOST 5669-96). Retrieved from. <https://docs.cntd.ru/document/1200022325>. (In Russ.).

9. Interstate council for standardization, metrology and certification. (2016). Confectionery. Meth-

ВЛИЯНИЕ НЕТРАДИЦИОННЫХ ВИДОВ МУКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ КЕКСОВ

ods for determination of moisture and solids. (HOST 5900-2014). Retrieved from. <https://docs.cntd.ru/document/1200119064>. (In Russ.).

10. Lysikov, YU.A. (2012). Amino acids in human nutrition // Experimental and clinical gastroenterology. (02). 88-105. (In Russ.).

11. Sanzharovskaya, N.S., Hrapko, O.P. & Kolomiets, V.I. (2021). Development of gluten-free cookies with improved consumer properties. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 61-67. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.03.008.

10. Skurihin, I.M. & Tutel'yan, V.A. (2002). *Chemical composition of Russian food products: Handbook*. Moscow : DeLiprint. (In Russ.).

13. Boltenko, YU.A. (2010). Development of rheological criteria for controlling the properties of wheat dough and the quality of bakery products. Extended abstract of candidate's thesis. Moscow. (In Russ.).

14. Interstate council for standardization, metrology and certification. (2016). Cupcakes. General specifications (HOST15052-2014). Retrieved from <https://docs.cntd.ru/document/1200114735>. (In Russ.).

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.*

Статья поступила в редакцию 03 мая 2023; одобрена после рецензирования 20 сентября 2023; принята к публикации 20 ноября 2023.

The article was received by the editorial board on 03 May 2023; approved after editing on 20 Sep 2023; accepted for publication on 20 Nov 2023.

Information about the authors

N.I. Myachikova - Candidate of Technical Sciences, associate professor, Associate Professor of the Department of Food Technology of the Belgorod State National Research University.

YU.A. Boltenko - Candidate of Technical Sciences, Acting Head of the Department of Food Technology of the Belgorod State National Research University.

YA.V. CHurkina - assistant of the Department of Food Technology of the Belgorod State National Research University.

E.N. Eliseeva - Master's student in the direction of training "Technology of products and organization of public catering" of the Department of Food Technology of the Belgorod State National Research University.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 637.1

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.003



ВЫДЕЛЕНИЕ ЛАКТОКОККОВ, ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДЛЯ МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Роман Викторович Дорофеев ¹, Татьяна Николаевна Кузнецова ²,
Екатерина Федоровна Отт ³, Ирина Андреевна Функ ⁴

^{1, 2, 3, 4} ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий», Барнаул, Россия

¹ romandorof@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1627-0454>

² orlova_tn_92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9120-4652>

³ sibniis.microlab22@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-6146-164X>

⁴ funk.irishka@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3540-3840>

Аннотация. Объектом исследования являются вновь выделенные штаммы лактококков. Цель работы – пополнение коллекционного фонда «Сибирской коллекции микроорганизмов» (СКМ) лактококками с технологически ценными свойствами.

В работе применяли общепринятые методы микробиологического и биохимического анализа. Изучены основные морфолого-культуральные, физиолого-биохимические и технологически ценные свойства лактобактерий, выделенных в 2016–2022 гг. из естественных источников (молоко-сырьё коровье, козье), на 166 штаммов лактококков составлены паспорта. В паспорт штамма включены наименование, номер, способ получения, метод идентификации штамма, морфолого-культуральные, физиолого-биохимические и технологические свойства, область применения и депозитор. В 2022 г. была разработана бактериальная закваска для производства ферментированных молочных продуктов (ТУ 10.89.19-099-71220805-2022), включающая штаммы мезофильных лактококков, выделенных в течение 2019 г., и пробиотические микроорганизмы из коллекции СКМ – *Lb. acidophilus*, *Lb. plantarum*, *B. adolescentis*. Новая бактериальная закваска включает в себя 6 заквасочных вариантов для производства различных ферментированных молочных продуктов: сыра, творога, сметаны, кисломолочных напитков и пробиотических продуктов. Вариант закваски БЗ-Lactis PI был апробирован при выработке сыра. Готовый сыр «Пладоленс» по органолептическим показателям был оценен на 97 баллов, вкус и запах полутвердого сыра – выраженный сырный, слегка кисловатый, консистенция теста эластичная слегка плотная, рисунок на разрезе сыра по всей массе неравномерный, неправильной щелевидной формы, цвет теста желтый. Таким образом, выделение перспективных штаммов лактобактерий с технологически ценными свойствами и создание новых бактериальных препаратов для молочной промышленности будет способствовать решению проблемы заквасочного дела, сложившейся в России.

Ключевые слова: молочнокислые бактерии, лактококки, *Lactococcus* spp., коллекция микроорганизмов, паспорта штаммов, бактериальные закваски, вариант бактериальной закваски, ферментированные молочные продукты, молочнокислое брожение, сыр.

Для цитирования: Выделение лактококков, перспективных для молочной промышленности / Р. В. Дорофеев [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 4, С. 24–28. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.003. EDN: <https://elibrary.ru/BSYIGI>.

Original article

ISOLATION OF LACTOCOCCI PROMISING FOR DAIRY INDUSTRY

Roman V. Dorofeev ¹, Tatiana N. Kuznetsova ², Ekaterina F. Ott ³, Irina A. Funk ⁴

^{1, 2, 3, 4} Federal State Budgetary National Scientific Institution "Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnologies", Barnaul, Russia

¹ romandorof@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1627-0454>

² orlova_tn_92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9120-4652>

³ sibniis.nicolab22@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-6146-164X>

⁴ funk.irishka@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3540-3840>

Abstract. *The object of the study is newly isolated strains of lactococci. The purpose of the work is to replenish the collection fund of the "Siberian Collection of Microorganisms" (SCM) with lactococci with technologically valuable properties. Generally accepted methods of microbiological and biochemical analysis were used in the work. The main morphological-cultural, physiological-biochemical and technologically valuable properties of lactobacilli isolated in 2016-2022 from natural sources (raw cow's milk, goat's milk) have been studied, passports have been compiled for 166 strains of lactococci. The strain passport includes the name, number, method of preparation, method of strain identification, morphological-cultural, physiological-biochemical and technological properties, scope of application and depositor. In 2022 a bacterial starter culture has been developed for the production of fermented dairy products (TU 10.89.19-099-71220805-2022), including strains of mesophilic lactococci isolated during 2019, and probiotic microorganisms from the collection of SCM - *Lb. acidophilus*, *Lb. plantarum*, *B. adolescentis*. The new bacterial starter culture includes 6 variant for the production of various fermented dairy products: cheese, curd, sour cream, fermented milk drinks and probiotic products. A variant of the starter culture BZ-Lactis PI was tested in the production of cheese. The finished cheese "Pladolens" according to organoleptic indicators was rated at 97 points, the taste and smell of semi-hard cheese is pronounced cheesy, slightly sour, the consistency of the dough is elastic slightly dense, the pattern on the cheese section throughout the mass is uneven, irregular slit-shaped, the color of the dough is yellow. Thus, the isolation of promising strains of lactococci with technologically valuable properties and the creation of new bacterial preparations for the dairy industry will contribute to solving the problem of starter culture that has developed in Russia.*

Keywords: *lactic acid bacteria, lactococci, lactococcus spp., collection of microorganisms, strain passports, bacterial starter cultures, variant of bacterial starter culture, fermented dairy products, lactic acid fermentation, cheese.*

For citation: Dorofeev, R. V., Kuznetsova, T. N., Ott, E. F. & Funk, I. A. (2023). Isolation of lactococci promising for dairy industry. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 24-28. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.003. EDN: <https://elibrary.ru/BSYIGI>.

Указом Президента Российской Федерации № 20 от 21 января 2020 г. утверждена «Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации» на период 2020–2030 гг. В соответствии с доктриной одним из основных положений стратегии является обеспечение населения страны качественными и безопасными продуктами питания [1].

Среди большого разнообразия продуктов питания растительного и животного происхождения одно из главных мест занимает молоко и молочная продукция.

В настоящее время в России выпускается большой ассортимент ферментированных молочных продуктов, таких как кисломолочные напитки, творог, масло, сыр, а также

продукты, содержащие пробиотические микроорганизмы.

Необходимым элементом при производстве ферментированных молочных продуктов являются бактериальные закваски, включающие полезную микрофлору *Lactococcus spp.*, *Lactobacillus spp.*, *Bifidobacterium spp.*, *Propionibacterium spp.* Заквасочные микроорганизмы принимают участие в микробиологических, физико-химических процессах и оказывают влияние на органолептические показатели и безопасность молочных продуктов. Поступая в организм человека, ферментированные молочные продукты способствуют регуляции обменных процессов, нормализации и улучшению функций организма.

Штаммы микроорганизмов, входящие в состав бактериальных заквасок, должны активно сбраживать углеводы, обладать протеолитической и липолитической активностью, не вызывать пороков ферментированных молочных продуктов, кроме того, создавать условия для сдерживания и подавления развития технически вредных микроорганизмов. Активность бактериальной закваски – залог получения качественного молочного продукта.

Значительный объем (более 90 %) бактериальных заквасок, используемых в молочной промышленности, поступал в Россию от зарубежных производителей, таких как Chr. Hansen (Дания), Danisco (Дания), SACCО (Италия), CSK food enrichment (Нидерланды), «Лактина» (Болгария) и др., однако в настоящее время их систематическая поставка нарушилась из-за санкционного давления США и Европейского союза [2, 3].

Ученые-микробиологи вместе со специалистами биофабрик обеспокоены проблемой, связанной с производством бактериальных заквасок в России, и поднимают вопросы, связанные с их импортозамещением. В первую очередь, необходимо строительство новых биофабрик, отвечающих современным требованиям, и проведение реконструкции действующих предприятий. Это даст возможность насытить рынок России и обеспечить предприятия молочной промышленности отечественными бактериальными заквасками [4].

Современные биофабрики, производящие бактериальные закваски и препараты для молочной промышленности, должны иметь коллекцию микроорганизмов, включающую банк штаммов полезной микрофлоры. Коллекционный фонд полезных микроорганизмов должен постоянно пополняться новыми производственно ценными штаммами, для этого необходимо постоянно проводить исследовательскую работу по выделению, идентификации молочнокислых бактерий, изучению их основных технологически ценных свойств, а также подбору бактериальных композиций для включения в состав бактериальной закваски.

Лаборатория микробиологии молока и молочных продуктов (отдел «Сибирский НИИ сыроделия» ФГБНУ ФАНЦА) является депозитором «Сибирской коллекция микроорганизмов» (СКМ). «Сибирская коллекция микроорганизмов» (СКМ) была создана несколькими поколениями ученых-микробиологов нашего института. Коллекция СКМ содержит штаммы полезных микроорганизмов: *Lactococcus spp.*, *Lactobacillus spp.*, *Bifidobacterium spp.*, *Propionibacterium spp.* Большинство

штаммов СКМ получены путем естественной селекции из природных источников Алтайского края. Эта коллекция является крупным отраслевым фондом полезной микрофлоры и селекционным материалом для разработки новых бактериальных препаратов.

При производстве ферментированных молочных продуктов лактококки составляют основу большинства бактериальных заквасок, принимающих участие в микробиологических процессах.

Начиная с 2016 и по 2022 гг. лаборатория микробиологии занималась селекцией мезофильных лактококков *Lactococcus spp.* Источником выделения лактококков служило молоко натуральное коровье сырое и молоко козье сырое, а также самоквасные продукты (Алтайский край, Республика Алтай, РФ). По результатам исследований отобрано 166 перспективных штаммов лактококков, которые были протестированы по морфолого-культуральным, физиолого-биохимическим и технологически ценным свойствам. Тест-свойства 166 штаммов позволили констатировать, что выделенные лактококки можно предварительно отнести к роду *Lactococcus spp.* [5, 6, 7, 8].

На 166 выделенных лактококков оформлены паспорта. В паспорт штамма включены наименование, номер штамма, способ получения, метод идентификации штамма, морфолого-культуральные, физиолого-биохимические и технологические свойства, область применения штамма и депозитор. Вновь выделенные 166 штаммов мезофильных лактококков были включены в коллекцию СКМ, которые поддерживаются перевивками на стерильном обезжиренном молоке один раз в 20–25 дней.

В соответствии с современными научными представлениями, для уточнения систематического положения, выделенные молочнокислые бактерии должны пройти генетический анализ, чтобы получить их видовую и, тем более, штаммовую таксономическую принадлежность [9, 10].

В Национальном Биоресурсном Центре Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов (БРЦ ВКПМ) НИЦ Курчатовский институт – ГосНИИГенетика (г. Москва) в 2021–2022 гг. на ряд штаммов из коллекции СКМ лаборатории микробиологии отдела СибНИИС ФГБНУ ФАНЦА были получены результаты генетической идентификации.

Проведение селекции молочнокислых микроорганизмов и пополнение коллекции СКМ региональными производственно ценными штаммами является стратегической линией в работе лаборатории микробиологии

ВЫДЕЛЕНИЕ ЛАКТОКОККОВ, ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДЛЯ МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

при разработке новых бактериальных заквасок для молочной промышленности.

В 2022 г. разработана бактериальная закваска для производства ферментированных молочных продуктов (ТУ 10.89.19-099-71220805-2022), включающая штаммы мезофильных лактококков, выделенных в течение 2019–2021 гг., и пробиотические микроорганизмы из коллекции СКМ – *Lb. acidophilus*, *Lb. plantarum*, *B. adolescentis*.

Штаммовый состав композиций бактериальной закваски был составлен по результатам исследований на биосовместимость штаммов, по образованию молочной кислоты, углекислоты, ароматических веществ (диацетил, ацетоин), консистенции сгустка, вкуса, аромата и антагонистической активности по отношению к технически вредной и патогенной микрофлоре. Новая бактериальная за-

кваска включает в себя 6 заквасочных вариантов для производства различных ферментированных молочных продуктов: сыра, творога, сметаны, кисломолочных напитков и пробиотических продуктов.

Выделенные лактококки *Lac. lactis*: штаммы 14¹⁹, 20¹⁹, 21¹⁹; *Lac diacetylactis* штаммы 1¹⁹, 4¹⁹, 11¹⁹ и *Lac. cremoris*, *Lb. plantarum* из коллекции СКМ, вошли в состав новой бактериальной закваски вариант БЗ-Lactis PI.

Бактериальная закваска вариант БЗ-Lactis PI была апробирована в производственных условиях при выработке полутвердого сыра «Пладоленс». Выработка сыра проводилась согласно технологической инструкции, прописанной в ТУ 10.51.40-084-00419710-2017.

Показатели готовой закваски БЗ-Lactis PI представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели бактериальной закваски БЗ-Lactis PI

Table 1 – Indicators of bacterial starter culture BZ-Lactis PI

Закваска	Показатель					
	<i>Lactococcus</i> spp, КОЕ/см ³	<i>Lactobacillus plantarum</i> , КОЕ/см ³	Органолептика	Титруемая кислотность, °Т	Газообразующая активность, см	Ароматобразующая активность, балл
БЗ-Lactis	1,0x10 ⁹	1,0x10 ⁸	Сгусток ровный, плотный, вкус чистый кисломолочный	102	2,8	4

Выделенные лактококки, входящие в состав бактериальной закваски БЗ-Lactis PI, активно принимали участие в процессе созревания сыра. Количество лактококков после 20 суток созревания находилось на уровне 1,0x10⁹ КОЕ/г, и за счет активного молочнокислого брожения содержание лактозы уменьшилось до 0,27 %. После 30 суток созревания количество лактококков в сыре снизилось до уровня 1,0x10⁸ КОЕ/г, *Lb. plantarum* – 1,0x10⁶ КОЕ/г. *Lb. plantarum*, входящая в состав данного варианта закваски, выполняла защитную функцию и подавляла рост технически вредной микрофлоры. После 20 суток количество БГКП стало уменьшаться за счет активного развития лактококков, к концу срока созревания сыра кишечная палочка отсутствовала.

Готовый сыр «Пладоленс» по органолептическим показателям был оценен на 97 баллов, вкус и запах полутвердого сыра – выраженный сырный, слегка кисловатый, консистенция теста эластичная, слегка плотная, рисунок на разрезе сыра по всей массе неравномерный, неправильной щелевидной формы, цвет теста желтый (согласно ТУ 10.51.40-084-00419710-2017).

Вариант бактериальной закваски БЗ-Lactis PI соответствовал требованиям ГОСТ 34372-2017 «Закваски бактериальные для производства молочной продукции».

Таким образом, выделение перспективных штаммов лактобактерий с технологически ценными свойствами и создание новых бактериальных препаратов для молочной промышленности будет способствовать решению проблемы заквасочного дела, сложившейся в РФ. Использование новых региональных штаммов молочнокислых бактерий при производстве ферментированных молочных продуктов с включением пробиотических культур (бифидобактерии, пропионовокислые бактерии) позволит расширить ассортимент и получить качественные ферментированные молочные продукты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указ президента РФ «Об утверждении доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации от 21.01.2020 № 20. Режим доступа : <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45106>.

2. Сорокина Н.П. О проблемах в заквасочном деле // Молочная промышленность. 2022. № 4. С 7–10.

3. Мусина О.Н., Орлова Т.Н., Отт Е.Ф. Возможна ли продовольственная независимость в молочной отрасли при использовании заквасок прямого внесения? // Переработка молока. 2022. № 4. С. 12–15.

4. Сорокина Н.П. К вопросу о сложной ситуации в отечественном заквасочном деле / Н.П. Сорокина // Переработка молока. № 4 (270). 2022. С. 6–7.

5. Банникова Л.А. Селекция молочнокислых бактерий и их применение в молочной промышленности. Москва : Пищевая промышленность, 1975. 255 с.

6. Bergey's manual of systematic bacteriology. The Firmicutes. Second edition. Volume 3. Springer Science+Business Media, LLC, 233 Spring Street, New York, NY 10013, USA, 2009. 1422 p. ISBN: 978-0-387-95041-9.

7. МР 2.3.2.2327-08. Методические рекомендации по организации производственного микробиологического контроля на предприятиях молочной промышленности (с атласом значимых микроорганизмов). Углич : ГНУ ВНИИМС, 2008. 243 с.

8. Гудков А.В. Сыроделие: технологические, биологические и физико-химические аспекты. 2-е изд., испр. и доп. Москва : ДеЛи принт, 2003. 800 с.

9. Разработка заквасок для кисломолочных продуктов / Семенихина В.Ф. [и др.] // Молочная промышленность. № 11. 2013. С. 30–31.

10. Шевелева С.А., Быкова И.Б., Черкашин А.В. Усовершенствование лабораторного контроля технологических микроорганизмов // Переработка молока. № 3 (161). 2013. С. 12–16.

3. Musina, O.N., Orlova, T.N., Ott, E.F. (2022). Is food independence possible in the dairy industry when using direct application starter cultures? Milk processing. (4). 12-15. (In Russ.).

4. Sorokina, N.P. (2022). On the issue of the difficult situation in the domestic starter business / N.P. Sorokina. Milk processing. (4). 6-7. (In Russ.).

5. Bannikova, L.A. (1975). Selection of lactic acid bacteria and their application in the dairy industry. Moscow : Food industry. (In Russ.).

6. Bergey's manual of systematic bacteriology. The Firmicutes. Second edition. Volume 3. Springer Science+Business Media, LLC, 233 Spring Street, New York, NY 10013, USA. ISBN: 978-0-387-95041-9.

7. MR 2.3.2.2327-08. Methodological recommendations on the organization of industrial microbiological control at dairy enterprises (with an atlas of significant microorganisms). Uglich : SSI ARRIMC, 2008. 243 p. (In Russ.).

8. Gudkov, A.V. (2003). Cheese-making: technological, biological and physico-chemical aspects 2nd ed., corr. and suppl. Moscow : DeLi Print. (In Russ.).

9. Semenikhina, V.F., Rozhkova I.V., Sumptuous, T.A., Abramova, A.A. (2013). Development of starter cultures for fermented milk products. Dairy industry. (11). 30-31. (In Russ.).

10. Sheveleva, S.A., Bykova, I.B., Cherkashin, A.V. (2013). Improvement of laboratory control of technological microorganisms. Milk processing. (3). 12-16. (In Russ.).

Информация об авторах

Р. В. Дорофеев – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории микробиологии молока и молочных продуктов отдела СибНИИС ФГБНУ ФАНЦА.

Т. Н. Кузнецова – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории микробиологии молока и молочных продуктов отдела СибНИИС ФГБНУ ФАНЦА.

Е. Ф. Отт – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории микробиологии молока и молочных продуктов отдела СибНИИС ФГБНУ ФАНЦА.

И. А. Функ – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории прикладной биотехнологии отдела СибНИИС ФГБНУ ФАНЦА.

Information about the authors

R. V. Dorofeev - Candidate of Agricultural Sciences, Senior researcher at the Laboratory of Microbiology of Milk and Dairy Products of the Siberian Scientific Research Institute of Cheese-Making of the Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnologies.

T. N. Kuznetsova - Candidate of Agricultural Sciences, Senior researcher at the Laboratory of Microbiology of Milk and Dairy Products of the Siberian Scientific Research Institute of Cheese-Making of the Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnologies.

E. F. Ott - Candidate of Biological Sciences, a leading researcher at the Laboratory of Microbiology of Milk and Dairy Products of the Siberian Scientific Research Institute of Cheese-Making of the Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnologies.

I. A. Funk - Candidate of Agricultural Sciences, Senior researcher at the Laboratory of Microbiology of Milk and Dairy Products of the Siberian Scientific Research Institute of Cheese-Making of the Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnologies.

REFERENCES

1. Decree of the President of the Russian Federation "On the approval of the Food Security Doctrine of the Russian Federation dated 21.01.2020 No. 20. Access mode: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45106> (In Russ.).

2. Sorokina, N.P. (2022). About problems in the starter business. Dairy industry. (4). 7-10. (In Russ.).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 19 мая 2023; одобрена после рецензирования 18 сентября 2023; принята к публикации 20 ноября 2023.

The article was received by the editorial board on 19 May 2023; approved after editing on 18 Sep 2023; accepted for publication on 20 Nov 2023.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 663.83

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.004



РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУР ДЕСЕРТНЫХ ЛИКЕРОВ НА ПЛОДОВО-ЯГОДНОМ СЫРЬЕ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

Елена Юрьевна Егорова ¹, Денис Александрович Шохин ²

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

¹ egorovaeyu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4990-943X>

² dzpsss3@gmail.com

Аннотация. Статья посвящена разработке рецептур десертных ликеров, в качестве основных компонентов которых авторами предложены плодово-ягодные сиропы и водно-спиртовые экстракты травы зверобоя продырявленного и рябины обыкновенной. Установлено, что для поставленной цели получение экстрактов возможно как из отдельных видов сырья – плодов рябины обыкновенной или сушеной травы с цветками зверобоя, так и путем использования комбинации этих двух видов сырья. Для комбинации «рябина + зверобой» (1 ч. +1,5 ч.):15 ч. водно-спиртового раствора концентрацией 40 % об. максимум перехода в экстракт сухих и полифенольных веществ зафиксирован на 4-е сутки (1,8 % сухих веществ, в том числе 1,1 % дубильных веществ). Качество экстрактов, плодово-ягодных сиропов, «Рябиново-вишневого» и «Рябиново-облепихового» ликёров оценивали стандартными и принятыми в ликероводочной отрасли методами. Установлено, что при полном соответствии требованиям ГОСТ 32071-2013, 20 см³ каждого из двух разработанных ликеров обеспечивает 52–57 % от рекомендуемой суточной нормы потребления флавонолов (основным источником которых были плодово-ягодные сиропы) и 90–100 % от рекомендуемой суточной нормы потребления гидролизующих и конденсированных дубильных веществ. Энергетическая ценность полученных ликеров находится на среднем для десертных ликеров и крепких плодовых вин уровне. Результаты оценки качества и анализ пищевой ценности ликеров предлагаемого состава подтверждают целесообразность их внедрения в промышленное производство и возможность частичного решения вопросов импортозамещения ликероводочной продукции премиум-класса.

Ключевые слова: импортозамещение, ликеры, рецептуры, технология, полуфабрикаты, плодово-ягодное сырье, пищевая ценность, полифенольные соединения.

Для цитирования: Егорова Е. Ю., Шохин Д. А. Разработка рецептур десертных ликеров на плодово-ягодном сырье Алтайского края // Ползуновский вестник. 2023. № 4, С. 29–37. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.004. EDN: <https://elibrary.ru/BUXIDK>.

Original article

DEVELOPMENT OF RECIPES FOR DESSERT LIQUEURS BASED ON FRUIT AND BERRY RAW MATERIALS OF THE ALTAI REGION

Elena Yu. Egorova ¹, Denis A. Shokhin ²

Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

¹ egorovaeyu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4990-943X>

² dzpsss3@gmail.com

© Егорова Е. Ю., Шохин Д. А., 2023

Abstract. The article is devoted to the development of recipes for dessert liqueurs, as the main components of which the authors proposed fruit and berry syrups and water-alcohol extracts of the herb St. John's wort and mountain ash. It has been established that for this purpose, extracts can be obtained both from certain types of raw materials – the fruits of mountain ash or dried grass with St. John's wort flowers, and by using a combination of these two types of raw materials. For the combination "rowan + St. John's wort" (1 part+ 1.5 part): 15 part water-alcohol solution with a concentration of 40% vol. the maximum transition to the extract of dry and polyphenolic substances was recorded on the 4th day (1.8% of dry substances, including 1.1% of tannins). It was found that, in full compliance with the requirements of GOST 32071-2013, 20 cm³ of each of the two developed liqueurs provides 52-57% of the recommended daily intake of flavonols (the main source of which were fruit and berry syrups) and 90-100% of the recommended daily intake of hydrolyzable and concentrated tannins. The energy value of the liqueurs obtained is at the average level for dessert liqueurs and strong fruit wines. The results of the quality assessment and the analysis of the nutritional value of the liqueurs of the proposed composition confirm the feasibility of their introduction into industrial production and the possibility of partially solving the issues of import substitution of premium alcoholic beverages.

Keywords: import substitution, liqueurs, formulations, technology, semi-finished products, fruit and berry raw materials, nutritional value, polyphenolic compounds.

For citation: Egorova, E. Yu. & Shokhin, D. A. (2023). Development of recipes for dessert liqueurs based on fruit and berry raw materials of the Altai region. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 29-37. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.004. EDN: <https://elibrary.ru/BUXIDK>.

ВВЕДЕНИЕ

Ликеры составляют важную часть мировой индустрии алкогольных напитков. Согласно прогнозам аналитиков, в текущем году мировой рынок ликеров может достичь 130,23 млрд. \$, а к 2033 году, с учетом среднегодового роста рынка 3,4 %, превысит 180 млрд. \$ [1].

Рынок ликеров в России и за рубежом развивается по-разному. Европейский рынок ликеров растет преимущественно за счет потребительского спроса на алкогольные напитки премиум-класса. В структуре отечественного алкогольного рынка за последние три года ликеры также вошли в пятерку самых быстрорастущих по росту продаж в натуральном и стоимостном выражении категорий алкогольных напитков [2]. В связи с тем, что ассортимент зарубежной алкогольной продукции премиум-класса существенно сузился, проявился спрос на отечественные бренды. Как следствие, с начала 2022 г. продажи ликеров российских производителей составили почти 10 % продаж, появилось 13 новых отечественных брендов ликеров и семь брендов биттеров – крепких горьких ликеров [3, 4].

Рост популярности ликеров как самостоятельной категории премиального алкоголя объясняется разнообразием и оригинальностью их вкусо-ароматических характеристик, обеспечивающих употребление ликеров в качестве послеобеденного дже-стива, дополнительного ингредиента коктей-

лей и кондитерских изделий [1]. Отмечается и важная социальная роль ликеров, обладающих способностью благоприятно воздействовать на пищеварительную и нервную систему потребителей благодаря специфическому сочетанию алкоголя и биологически активных компонентов растительного сырья [5–7]. С точки зрения организации производства ингредиенты для ликеров в большинстве регионов России более доступны, чем качественные виноматериалы, технологический процесс производства занимает значительно меньше времени, а сами ликеры менее требовательны к условиям хранения.

В структуре ассортимента реализуемых ликеров примерно четверть приходится на десертные [8]. Эта категория ликеров производится из разнообразного травяного и плодово-ягодного сырья, гарантирующего характерный вкус и букет напитков [9, 10], а также присутствие в них антиоксидантов преимущественно полифенольной природы [11–13]. Из плодово-ягодного сырья в мировой практике производства десертных ликеров наиболее часто используются плоды аронии, сливы, черной смородины, ежевики, малины, шиповника, клубники, вишни и черешни [9, 13]. При производстве биттеров европейских брендов широко используют травяное сырье – растения сем. Губоцветных (*Lamiaceae*), Астровых (*Asteraceae*), Розоцветных (*Rosaceae*), Рутовых (*Rutaceae*) и Зонтичных (*Apiaceae*) [5, 14]. Перечень травяного сырья, привлекаемого к разработке ликеров в России, более широк и разнообразен [8, 15–17], однако при всем по-

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУР ДЕСЕРТНЫХ ЛИКЕРОВ НА ПЛОДОВО-ЯГОДНОМ СЫРЬЕ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

тенциале отечественная промышленность пока не обеспечивает решения всех задач импортозамещения алкоголя и растущего спроса на ликеры.

Целью предоставленной работы стала разработка рецептур десертных ликёров на растительном сырье регионального значения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве основных объектов исследований в работе выступали полуфабрикаты из возобновляемого растительного сырья, культивируемого в климатических условиях Алтайского края (экстракты травы зверобоя продырявленного и рябины обыкновенной, сиропы из плодов вишни и облепихи) и рецептуры десертных ликёров. Трава зверобоя для получения экстрактов выбрана по результатам ранее проведенных исследований [17], рассматриваемое плодородное сырье – за высокое содержание компонентов с антиоксидантными и провитаминными свойствами.

Наиболее ценные компоненты плодов рябины растворимы в маслах и этиловом спирте, полифенольные компоненты и эфирное масло травы зверобоя также наиболее эффективно извлекаются растворами этилового спирта. С учетом литературных данных и результатов собственных предварительных исследований, в качестве метода извлечения биологически активных компонентов из плодов рябины обыкновенной и травы зверобоя продырявленного в работе выбран метод настаивания измельченного растительного сырья в водно-спиртовых растворах концентрацией 40 % об.

Траву зверобоя влажностью $10,0 \pm 0,2$ % и плоды рябины влажностью $20,1 \pm 0,2$ % измельчали и подвергали экстракции настаиванием при температуре 22 ± 2 °С в течение 1...7 суток. Гидромодуль экстракции 1:10 для плодов рябины определен по данным литературы [18], для травы зверобоя 1:10 и смеси плодов рябины и травы зверобоя (1 ч. +1,5 ч.):15 – по результатам ранее проведенных исследований. В процессе настаивания экстракционную смесь периодически перемешивали. После настаивания спиртовые экстракты отделяли от растительного шрота декантацией и отфильтровывали от взвесей.

Сумму экстрактивных веществ, характеризующую эффективность экстракции, экспрессно определяли рефрактометрическим методом по ГОСТ ISO 2173-2013 и подтверждали гравиметрически по ГОСТ 24027.2-80.

Приготовление сиропов как компонентов купажа ликеров осуществляли по обще-

принятой отраслевой технологии [18]. Оценку качества плодово-ягодных сиропов – компонентов купажа ликеров – проводили в соответствии с методами, регламентированными ГОСТ 28499-2014 [19].

Показатели качества ликеров определяли стандартными методами, установленными ГОСТ 32071-2013 [20].

Исследование показателей, характеризующих физиологическую ценность полуфабрикатов – компонентов купажа (экстрактов, сиропов) – и готовых ликеров, осуществляли в соответствии с общепринятыми методиками:

- сумму флавоноидов в пересчете на рутин определяли согласно методике ГОСТ Р 55312-2012;

- сумму дубильных веществ в пересчете на танин – по ГОСТ 24027.2-80;

- сумму полифенольных соединений – методом фотоколориметрии по ГОСТ 55488-2013.

Дегустационный профиль ликеров оценивали с учетом показателей, предложенных для ликеров на растительном сырье [8]. Массовую концентрацию общего экстракта в ликерах определяли гравиметрическим методом, рекомендованным для контроля качества крепких спиртных напитков Международной Организацией Винограда и Вина [21].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основными условиями, определяющими эффективность извлечения биологически активных компонентов растительного сырья при получении ликероводочной продукции, являются концентрация водно-спиртового раствора, гидромодуль и температура [10, 14].

Согласно результатам проведенных исследований, получение экстрактов в условиях производства возможно как из отдельных видов сырья – плодов рябины обыкновенной или сушеной травы с цветками зверобоя, так и путем использования комбинации этих двух видов сырья в одном экстракторе/чане. Во-первых, в индивидуальные экстракты переходит больше экстрактивных веществ (рис. 1, а), в частности сахаров из плодов рябины, обуславливающих более насыщенные и сбалансированные дегустационные качества самих экстрактов и готовых ликеров. Во-вторых, при получении экстрактов из моносырья зверобоя в настое переходит на 50...60 % больше флавоноидов, по сравнению с экстрактом из смеси сухой травы зверобоя и плодов рябины (рис. 1, в). Вместе с тем, совместное экстрагирование сырья позволя-

ет сократить издержки производства (на используемое оборудование или затраченное на вторую экстракцию время) при достижении тех же значений по переходу в экстракт дубильных веществ (рис. 1, б), вносящих определенный вклад в формирование характерного вкуса и антиоксидантную активность продукции ликероводочного производства.

Анализ динамики перехода в экстракты экстрактивных и полифенольных веществ показывает, что при выбранном гидромодуле для всех вариантов сырья максимум извлечения достигается на 4–5 сутки (рис. 1), после чего значение показателя выходит на плато либо начинает несколько снижаться. Для комбинации «рябина + зверобой» по всем изученным физико-химическим показателям максимум фиксируется на 4-е сутки, поэтому в дальнейшей работе при получении десертных ликеров выбор был остановлен на этой продолжительности настаивания.

Цвет полученных экстрактов свидетельствует об эффективном извлечении пигментов полифенольной природы. Однако, несмотря на выявленную стабильность значений исследуемых показателей, свидетельствующих о завершении процесса перехода компонентов растительного сырья в экстракт, продолжение выдерживания сырья в контакте с полученным водно-спиртовым настоем сопровождается усилением насыщенности цвета экстрактов (рис. 2). Можно предположить, что обнаруженное усиление цвета связано с преобразованием экстрагированных из растительного сырья веществ полифенольной природы. В частности, некоторые дубильные вещества, окисляясь, могут переходить во флорафены – вещества красно-бурого цвета, также обладающие антиоксидантными свойствами.

Второй основной компонент купажа ликеров – сиропы из плодов вишни и облепихи – имеют умеренно-вязкую консистенцию, вкус и цвет, свойственные исходному плодovому сырью, а также выраженную кислотность, позволяющую при введении в купаж ликера частично нивелировать характерную горечь плодов рябины.

Анализ физико-химических показателей качества сиропов (таблица 1) показывает, что оба сиропа характеризуются достаточно

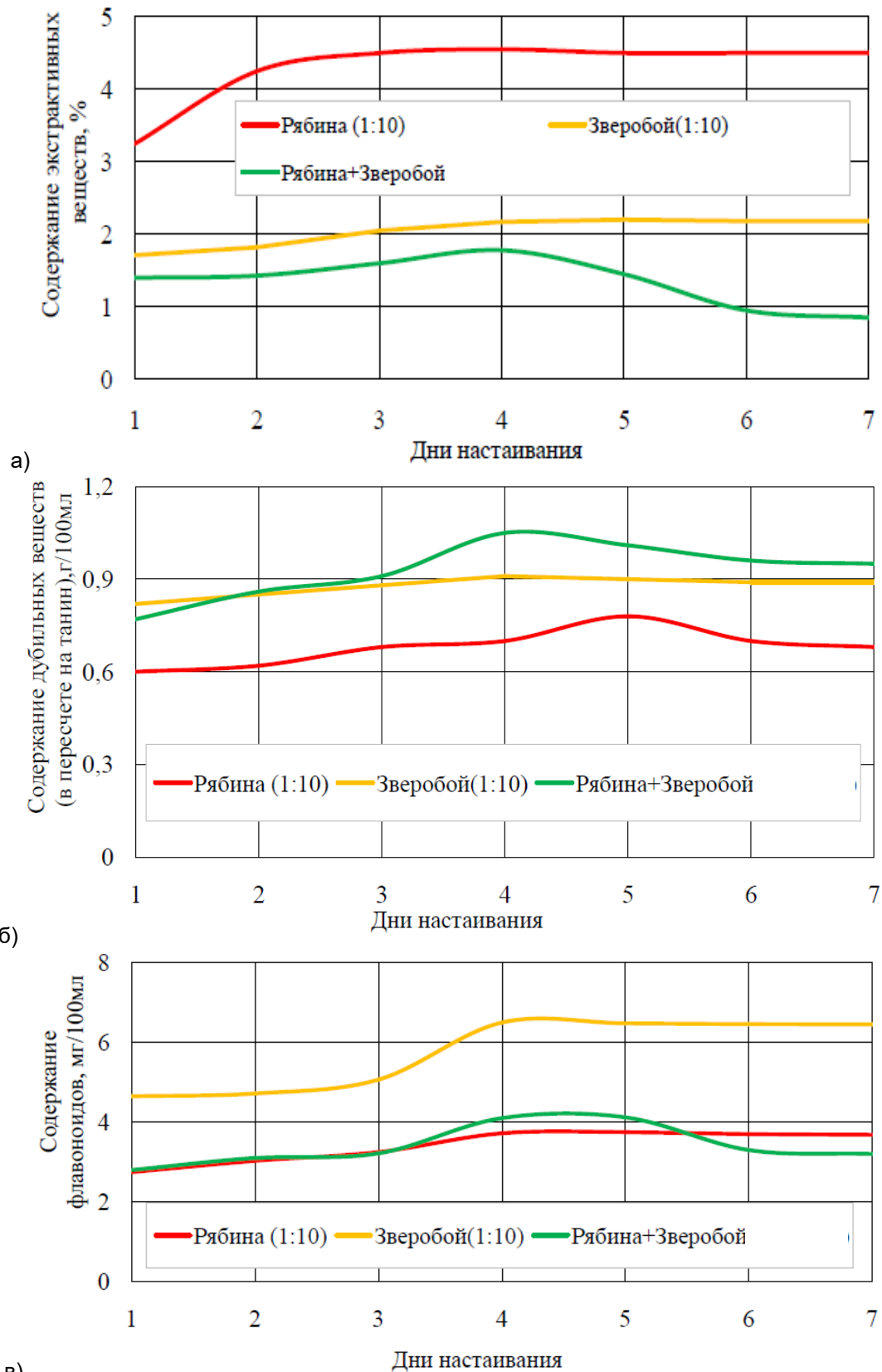
высоким содержанием собственных флавоноидов и дубильных веществ, что должно обеспечить более высокую физиологическую и дегустационную ценность разрабатываемых напитков.

Корреляция между параметрами антиоксидантной активности и содержанием полифенолов и антоцианов в напитках хорошо известна [22, 23]. Наиболее нестабильными при хранении напитков считаются антоцианы [9], преобладающие, в частности, в составе полифенолов плодов вишни. Однако присущая сиропам высокая концентрация сахаров, как было показано зарубежными исследованиями [13], работает на улучшение органолептических показателей и стабильности веществ полифенольной природы как в самих сиропax – полуфабрикатах для ликероводочного производства, так и в готовых ликерах, чем обеспечивает более длительное сохранение их антиоксидантной и пищевой ценности.

В соответствии с ГОСТ 32071-2013 десертными называются ликеры крепостью не менее 15 %, с массовой концентрацией сахара не менее 10 г/100 см³ [20]. Использование в качестве основных компонентов ликеров приготавливаемых экстрактов и сиропов позволило получить два новых напитка с оригинальными органолептическими характеристиками (рис. 3), получившие названия «Рябиново-облепиховый» и «Рябиново-вишневый».

По сравнению с представленными в реализации напитками из категории десертных ликеров новые ликеры, полученные купажированием плодово-ягодных сиропов и экстракта «рябина + зверобой» четырех суток настаивания, имеют более насыщенный цвет и характеризуются более высоким содержанием инвертных сахаров (43,0 % и 42,4 % соответственно, таблица 2), что обусловлено спецификой состава сиропов из кислых плодов вишни и облепихи и обусловленной этим необходимостью гармонизации предельно высокой для десертных ликеров кислотности (0,6 г/100 см³ при норме не более 0,7 г/100 см³) и выраженной горечи экстракта рябины. Вместе с тем, энергетическая ценность полученных ликеров находится на среднем для десертных ликеров и крепких плодовых вин уровне.

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУР ДЕСЕРТНЫХ ЛИКЕРОВ
НА ПЛОДОВО-ЯГОДНОМ СЫРЬЕ АЛТАЙСКОГО КРАЯ



в) Рисунок 1 – Динамика перехода в экстракт экстрактивных и полифенольных веществ

Figure 1 – Dynamics of transition to extract of extractive and polyphenolic substances



1-й 7-й
Рисунок 2 – Переход пигментов в экстракт «рябина + зверобой» в течение 7 дней (нарастание интенсивности окраски)

Figure 2 – Transfer of pigments to the extract «rowan + St. John's wort» within 7 days (increase in color intensity)

Таблица 1 – Физико-химические показатели качества сиропов

Table 1 – Physico-chemical indicators of the quality of syrups

Сироп	Наименование и значение показателя, на 100 г (мл)				
	Массовая доля сухих веществ, %	Титруемая кислотность, %	Массовая доля сахара, %	Содержание флавоноидов, мг	Содержание дубильных веществ, г
Облепиховый	70,1	13,0	64,2	112	1,1
Вишневый	64,4	13,4	63,3	128	0,8
Норма по ГОСТ 28499-2014 [19]	Не менее 50,0	Согласно рецептуре	Не нормируется	Не нормируется	Не нормируется

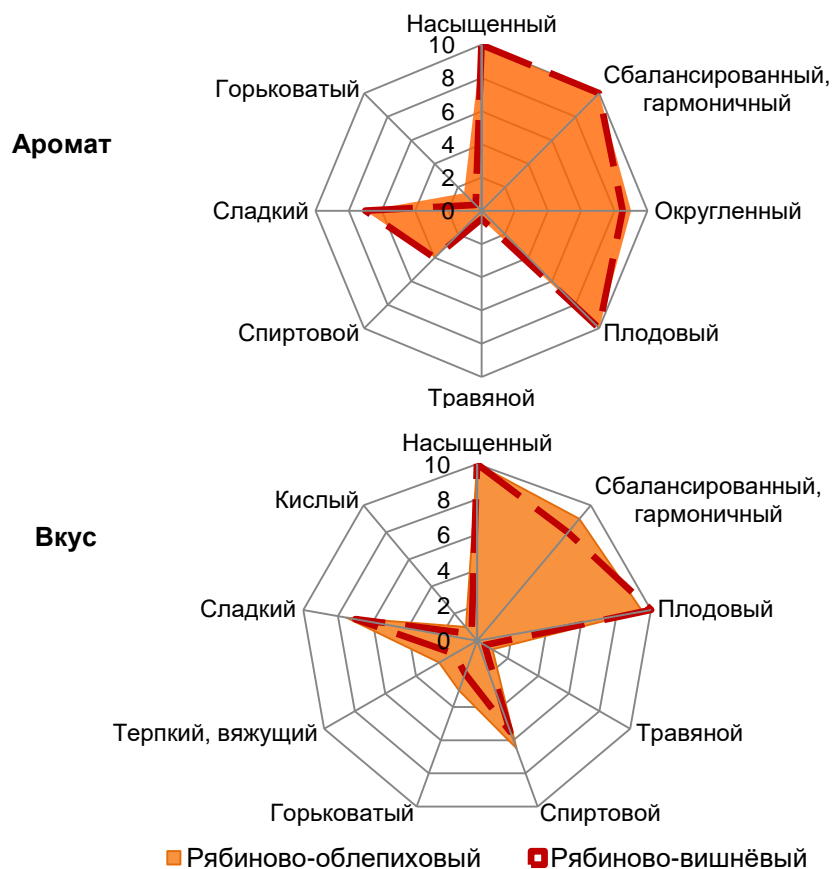


Рисунок 3 – Дегустационные профили ликеров

Figure 3 – Tasting profiles of liquors

**РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУР ДЕСЕРТНЫХ ЛИКЕРОВ
НА ПЛОДОВО-ЯГОДНОМ СЫРЬЕ АЛТАЙСКОГО КРАЯ**

Таблица 2 – Физико-химические показатели качества ликеров

Table 2 – Physico-chemical indicators of the quality of liquors

Ликер	Наименование и значение показателя			
	Крепость, %	Массовая концентрация, г/100 см ³		
		общего экстракта	сахара	кислот
Рябиново-облепиховый	17,0	46,1	43,0	0,6
Рябиново-вишневый	17,0	43,5	42,4	0,6
Норма по ГОСТ 32071-2013 [20]	Не менее 15,0	Не менее 10,0	Не менее 10,0	0–0,7

Таблица 3 – Пищевая ценность ликеров

Table 3 – Nutritional value of liquors

Ликер	Значение показателя пищевой ценности для 100 см ³ ликера	
	Рябиново-облепиховый	Рябиново-вишневый
Белки, г	0	0
Жиры, г	2,1	0,2
Углеводы, г	43,0	42,4
Флавоноиды, мг	78	86
Дубильные вещества, г	1,0	0,9
Энергетическая ценность, ккал	310	290

После купаживания и выдержки в течение месяца оба ликера – с характерным для ликероводочных изделий блеском и деликатной горчинкой во вкусе, обусловленной присутствием в составе этих напитков экстракта плодов рябины и завуалированной благодаря выраженным вкусо-ароматическим свойствам входящих в купаж ликеров плодово-ягодных сиропов. Кроме гармонизации горечи, сиропы из вишни и облепихи обеспечивают умеренную вязкость разработанных десертных ликеров, в том числе благодаря присутствию в их составе растворимых пектиновых веществ используемого сырья. Поскольку компоненты купажа ликеров – экстракты и плодово-ягодные сиропы – имеют собственный насыщенный цвет, не требуется дополнительного введения колера как компонента, традиционно вводимого в состав ликероводочной продукции для усиления окраски.

Благодаря предложенному сочетанию экстрактов и сиропов, богатых разнообразными по строению и проявляемым физиологическим функциям биологически активными веществами, 20 см³ любого из двух разработанных ликеров (таблица 3) обеспечивает 52–57 % от рекомендуемой суточной нормы потребления флавонолов (к которым относятся кверцетин и рутин, норма 30 мг в сутки) и 90–100 % от рекомендуемой суточной нормы потребления (200 мг в сутки) гидролизуемых и конденсированных дубильных веществ [24].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка качества и анализ пищевой ценности ликеров предлагаемого состава подтверждают целесообразность их внедрения в промышленное производство. Таким образом, использование растительного сырья регионального значения, характеризующегося относительно низкой закупочной стоимостью для переработчиков, дает возможность разработки и производства новых десертных ликеров и частичного решения вопросов импортозамещения ликероводочной продукции премиум-класса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Global Liquors Market-Analysis. Liqueurs Market Outlook (2023 to 2033) [Эл. ресурс]. Режим доступа: <https://www.futuremarketinsights.com/reports/liqueurs-market>.
2. NielsenIQ. Алкоголь стал самой динамично развивающейся категорией на рынке FMCG в 2021 году [Эл. ресурс]. Режим доступа : <https://www.retail.ru/news/nielseniq-alkogol-stal-samoy-dinamichno-razvivayushcheysya-industriyey-narynke-f-10-fevralya-2022-213783/>.
3. Что происходит с алкоголем в России и как на этом заработать инвестору // Журнал Тинькофф. 21.04.2023 г. [Эл. ресурс]. Режим доступа : <https://journal.tinkoff.ru/news/review-alcohol-market/>.
4. Новые российские бренды джинов и ликеров резко нарастили продажи // AdIndex. 30.11.2022 г. [Эл. ресурс]. Режим доступа : https://adindex.ru/news/researches/2022/11/30/30823_9.phtml?ysclid=lkca1ykhcp474875683.

5. Martínez-Francés V., Rivera D., Obon C., Alcaraz F., Ríos S. Medicinal Plants in Traditional Herbal Wines and Liquors in the East of Spain and the Balearic Islands // *Frontiers in Pharmacology*. 2021. V. 12: 713414. doi: 10.3389/fphar.2021.713414. eCollection 2021.

6. Petrović M., Vukosavljević P., Đurović S., Antić M., Gorjanović S. New herbal bitter liqueur with high antioxidant activity and lower sugar content: innovative approach to liqueurs formulations // *Journal of Food Science and Technology*. 2019. V. 56(10). P. 4465–4473. doi:10.1007/s13197-019-03949-6.

7. Egea T., Signorini M., Bruschi P., Rivera D., Obón C., Alcaraz F., Palazón J. Spirits and liqueurs in European traditional medicine: Their history and ethnobotany in Tuscany and Bologna (Italy) // *Journal of Ethnopharmacology*. 2015. V. 175. P. 241–255. doi:10.1016/j.jep.2015.08.053.

8. Батурина А.А. Разработка технологии и товароведная характеристика ликеров из растительного сырья Дальневосточного региона : дисс. ... канд. техн. наук. Владивосток, 2017. 201 с.

9. Buglass A.J., Caven-Quantrill Dr.D. Applications of natural ingredients in alcoholic drinks / Ed.D. Baines, R. Seal // In Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Natural Food Additives, Ingredients and Flavourings. 2011. P. 358–416. doi :10.1533/9780857095725.2.358.

10. Егорова Е.Ю., Сысоева Д.Ю., Рожнов Е.Д., Мороженко Ю.В. Ароматические альдегиды экстрактов растительного сырья, используемого в производстве ликероводочных изделий // *Ползуновский вестник*. 2014. № 4–2. С. 126–131.

11. Sokół-Łętowska A., Kucharska A., Wińska K., Szumny A., Nawirska-Olszańska A., Mizgier P., Wyspiańska D. Composition and antioxidant activity of red fruit liqueurs // *Food chemistry*. 2014. V. 157. P. 533–539. Doi :10.1016/j.foodchem.2014.02.083.

12. Cafieiro C., Tavares P., Oliveira de souza C., Cruz L., Mamede M. Elaboration of wild passion fruit (*Passiflora cincinnata* Mast.) liqueur: a sensory and physicochemical study // *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*. 2022. V. 94. S. 3. e20211446. doi: 10.1590/0001-376520220211446.

13. Sokół-Łętowska A., Kucharska A., Szumny A., Wińska K., Nawirska-Olszańska A. Phenolic Composition Stability and Antioxidant Activity of Sour Cherry Liqueurs // *Molecules*. 2018. V. 23 (9): 2156. doi:10.3390/molecules23092156.

14. Fascella G., D'Angiolillo F., Mammano M.M., Granata G., Napoli E. Effect of Petal Color, Water Status, and Extraction Method on Qualitative Characteristics of Rosa rugosa Liqueur // *Plants*. 2022. V. 11 (14): 1859. doi: 10.3390/plants11141859.

15. Фищенко Е.С., Палагина М.В., Батурина А.А., Текутьева Л.А., Золотова В.И. Разработка рецептуры алкогольных ликеров с использованием экстрактов из растительного сырья Дальневосточного региона // *Пиво и напитки*. 2018. № 3. С. 68–71.

16. Кох Ж.А., Кох Д.А. *Berberis Sibirica* Pall. как перспективное сырье для производства ликеров // *Вестник КрасГАУ*. 2017. № 1. С. 120–124.

17. Егорова Е.Ю., Ткачева А.Ю., Шохин Д.А. Использование экстрактов лекарственно-техни-

ческого сырья в рецептурах десертных ликеров и ликерных начинок конфет и карамели // *Ползуновский вестник*. 2021. № 3. С. 21–29. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.03.003.

18. Егорова Е.Ю., Школьникова М.Н., Гернет М.В., Зайнуллин Р.А., Кунакова Р.В. Производство бальзамов и сиропов : учеб. пособие. СПб. : ИД «Профессия», 2011. 408 с.

19. ГОСТ 28499-2014. Сиропы. Общие технические условия. Введен 01.01.2016. М. : Стандартинформ, 6 с.

20. ГОСТ 32071-2013. Продукция алкогольная. Ликеры. Общие технические условия. Введен 01.07.2014. М. : Стандартинформ, 6 с.

21. Méthode OIV-MA-BS-09. Determination de l'extrait sec total par gravimétrie. R2009. 5 p.

22. Nowak A., Duchnik W., Muzykiewicz A., Kucharski Ł., Zielonka-Brzezicka J., Nowak A., Klimowicz A. The Changes of Antioxidant Activity of Three Varieties of 'Nalewka', a Traditional Polish Fruit Alcoholic Beverage during Long-Term Storage // *Applied Sciences*. 2023. V. 13 (2). 1114. doi: 10.3390/app13021114.

23. Karabegovic S.I., Vukosavljević P.V., Novaković M., Gorjanović S., Dzamic A., Lazic M. Influence of the storage on bioactive compounds and sensory attributes of herbal liqueur // *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*. 2012. V. 7 (4). P. 1587–1598.

24. МР 2.3.1.0253-21. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Утв. 22.06.21 г.

Информация об авторах

Е. Ю. Егорова – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии хранения и переработки зерна Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

Д. А. Шохин – студент направления подготовки «Продукты питания из растительного сырья» кафедры технологии хранения и переработки зерна Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

REFERENCES

1. Global Liquors Market-Analysis. Liqueurs Market Outlook (2023 to 2033) // <https://www.futuremarketinsights.com/reports/liqueurs-market>.

2. NielsenIQ: Alcohol has become the most dynamically developing category on the FMCG market in 2021 // <https://www.retail.ru/news/nielseniq-alkogol-stal-samoy-dinamichno-razvivayushchey-sya-industriey-na-rynke-f-10-fevralya-2022-213783/>.

3. What is happening with alcohol in Russia and how to make money on it for an investor // *Journal Tinkoff*. 21.04.2023. // <https://journal.tinkoff.ru/news/review-alcohol-market/>.

4. New Russian brands of gins and liqueurs have sharply increased sales // *AdIndex*. 30.11.2022. // <https://adindex.ru/news/researches/2022/11/30/308239.phtml?ysclid=lkca1ykhcp474875683>.

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУР ДЕСЕРТНЫХ ЛИКЕРОВ НА ПЛОДОВО-ЯГОДНОМ СЫРЬЕ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

5. Martínez-Francés, V., Rivera, D., Obon, C., Alcaraz, F. & Ríos, S. (2021). Medicinal Plants in Traditional Herbal Wines and Liqueurs in the East of Spain and the Balearic Islands // *Frontiers in Pharmacology*. V. 12: 713414. doi: 10.3389/fphar.2021.713414. eCollection 2021.
6. Petrović, M., Vukosavljević, P., Đurović, S., Antić, M. & Gorjanović, S. (2019). New herbal bitter liqueur with high antioxidant activity and lower sugar content: innovative approach to liqueurs formulations // *Journal of Food Science and Technology*. V. 56 (10). P. 4465-4473. doi:10.1007/s13197-019-03949-6.
7. Egea, T., Signorini, M., Bruschi, P., Rivera, D., Obón, C., Alcaraz, F. & Palazón, J. (2015). Spirits and liqueurs in European traditional medicine: Their history and ethnobotany in Tuscany and Bologna (Italy) // *Journal of Ethnopharmacology*. V. 175. P. 241-255. doi:10.1016/j.jep.2015.08.053.
8. Baturina, A.A. (2017). Development of technology and commodity characteristics of liqueurs from vegetable raw materials of the Far Eastern region: of candidate's dissertation. Vladivostok. (In Russ.).
9. Buglass, A.J. & Caven-Quantrill, Dr.D. (2011). Applications of natural ingredients in alcoholic drinks / Ed.D. Baines, R. Seal // In Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Natural Food Additives, Ingredients and Flavours, P. 358-416. doi: 10.1533/9780857095725.2.358.
10. Egorova, E.Yu., Sysoeva, D.Yu., Rozhnov, E.D. & Morozhenko, Yu.V. (2014). Aromatic aldehydes of extracts of vegetable raw materials used in the production of alcoholic beverages // *Polzunovsky vestnik*. No. 4-2. P. 126-131. (In Russ.).
11. Sokół-Łętowska, A., Kucharska, A., Wińska, K., Szumny, A., Nawirska-Olszańska, A., Mizgier, P. & Wyspiańska, D. (2014). Composition and antioxidant activity of red fruit liqueurs // *Food chemistry*. V. 157 C. P. 533-539. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.02.083.
12. Cafeiro, C., Tavares, P., Oliveira de Souza, C., Cruz, L. & Mamede, M. (2022). Elaboration of wild passion fruit (*Passiflora cincinnata* Mast.) liqueur: a sensory and physicochemical study // *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. V. 94. S. 3. e20211446. doi: 10.1590/0001-376520220211446.
13. Sokół-Łętowska, A., Kucharska, A., Szumny, A., Wińska, K. & Nawirska-Olszańska, A. (2018). Phenolic Composition Stability and Antioxidant Activity of Sour Cherry Liqueurs // *Molecules*. V. 23 (9): 2156. doi: 10.3390/molecules23092156.
14. Fascella, G., D'Angiolillo, F., Mammano, M.M., Granata, G. & Napoli, E. (2022). Effect of Petal Color, Water Status, and Extraction Method on Qualitative Characteristics of Rosa rugosa Liqueur // *Plants*. V. 11 (14): 1859. doi: 10.3390/plants11141859.
15. Fishchenko, E.S., Palagina, M.V., Baturina, A.A., Tekuteva, L.A. & Zolotova, V.I. (2018). Development of the formulation of alcoholic liqueurs using extracts from plant raw materials of the far eastern regions // *Beer and beverages*. No. 3. P. 68-71. (In Russ.).
16. Koch, Zh.A. & Koch, D.A. (2017). *Berberis Sibirica* Pall. as perspective raw materials for production of liqueurs // *Bulletin of KrasSAU*. No. 1. P. 120-124. (In Russ.).
17. Egorova, E.Yu., Tkacheva, A.Yu. & Shokhin, D.A. (2021). Use of extracts of medicinal-technical raw materials in formulations of dessert liqueurs and liqueur fillings of sweets and caramels // *Polzunovskiy vestnik*. No. 3. P. 21-29 (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.03.003.
18. Egorova, E.Yu., Shkolnikova, M.N., Gernet, M.V., Zainullin, R.A. & Kunakova, R.V. (2011). Production of balms and syrups: textbook. Saint-Petersburg. 408 p. (In Russ.).
19. GOST 28499-2014. Syrups. General specifications. Introduced 01.01.2016. Moscow : Standartinform, 6 p. (In Russ.).
20. GOST 32071-2013. Alcohol production. Liqueurs. General specifications. Introduced 01.07.2014. Moscow : Standartinform, 6 p. (In Russ.).
21. Méthode OIV-MA-BS-09. Determination de l'extrait sec total par gravimétrie.R2009. 5 p.
22. Nowak, A., Duchnik, W., Muzykiewicz, A., Kucharski, Ł., Zielonka-Brzezicka, J., Nowak, A. & Klimowicz, A. (2023). The Changes of Antioxidant Activity of Three Varieties of 'Nalewka', a Traditional Polish Fruit Alcoholic Beverage during Long-Term Storage // *Applied Sciences*. V. 13 (2). 1114. doi: 10.3390/app13021114.
23. Karabegovic, S.I., Vukosavljević, P.V., Novaković, M., Gorjanović, S., Dzamic, A. & Ladic, M. (2012). Influence of the storage on bioactive compounds and sensory attributes of herbal liqueur // *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*. V. 7 (4). P. 1587-1598.
24. MP 2.3.1.0253-21. Norms of physiological needs for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation.

Information about the authors

E. Yu. Egorova - Doctor of Technical Sciences, associate professor, Head of the Department of Grain Storage and Processing Technology, Polzunov Altai State Technical University.

D. A. Shokhin - student of the training course 'Food products from vegetable raw materials' of the Department of Grain Storage and Processing Technology, Polzunov Altai State Technical University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.


Статья поступила в редакцию 17 мая 2023; одобрена после рецензирования 18 сентября 2023; принята к публикации 20 ноября 2023.

The article was received by the editorial board on 17 May 2023; approved after editing on 18 Sep 2023; accepted for publication on 20 Nov 2023.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК637.352

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.005

 EDN: CHIIWW

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПСИЛЛИУМА ДЛЯ ЗАГУЩЕНИЯ ТВОРОЖНОЙ СЫВОРОТКИ

Габриелян Дина Сергеевна ¹, Алла Львовна Новокшанова ²

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина», Вологда, Россия

² Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Москва, Россия

¹ dg050272@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6018-9787>

² novokshanova@ion.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5049-1472>

Аннотация. Актуальность переработки сыворотки инициирует создание новых продуктов, например желированных. Положительно зарекомендовавшие себя в медико-биологическом плане волокна псиллиума исследованы с точки зрения технологии загущения творожной сыворотки. Критериями исследования служили показатели условной и эффективной вязкости, а также органолептические характеристики образцов. Добавление псиллиума в дистиллированную воду и творожную сыворотку в интервале от 2 до 4 % привело к нелинейному увеличению условной вязкости образцов. При этом условная вязкость систем на основе сыворотки возрастала менее интенсивно, чем при прочих равных условиях в воде. Выявлено большое влияние температурного фактора на процесс структурирования систем из творожной сыворотки и псиллиума. Вязкость опытных образцов творожной сыворотки с разным количеством псиллиума возрастала при нагревании, начиная с температуры (50–60) °С, что было ощутимо при перемешивании. Пастеризация этих образцов при 80 °С в течение 20 с последующим охлаждением и термостатированием при температуре (4±2) °С в течение двух часов привела к желеобразованию систем. По итогам органолептической оценки лучшими показателями были охарактеризованы образцы творожной сыворотки с массовой долей псиллиума 3,5 %. Количество добавленного к сыворотке псиллиума от 2 до 4 % в готовом продукте будет отвечать понятию «источник пищевых волокон». Несмотря на то, что полученные в условиях эксперимента закономерности справедливы главным образом в отношении псиллиума и творожной сыворотки, они представляют практический интерес и в технологии переработки других видов молочной сыворотки.

Ключевые слова: творожная сыворотка, пищевые волокна, псиллиум, условная вязкость, органолептические показатели, источник пищевых волокон.

Для цитирования: Габриелян Д. С., Новокшанова А. Л. Использование псиллиума для загущения творожной сыворотки // Ползуновский вестник. 2023. № 4, С. 38–44. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.005. EDN: <https://elibrary.ru/CHIIWW>.

Original article

USE OF PSYLLIUM FOR THICKENING CURD WHEY

Dina S. Gabrielyan ¹, Alla L. Novokshanova ²

¹ Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Vologda State Dairy Academy

© Габриелян Д. С., Новокшанова А. Л., 2023

named after N.V. Vereshchagin", Vologda, Russia dg050272@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6018-9787>

² Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety», Moscow, Russia, novokshanova@ion.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5049-1472>

Abstract. *The urgency of whey processing initiates the creation of new products, for example, modified ones. Psyllium fibers, which have proven themselves positively in medical and biological terms, have been studied from the point of view of the technology of thickening curd whey. The criteria of the study were the indicators of conditional and effective viscosity, as well as the organoleptic characteristics of the samples. The addition of psyllium to distilled water and curd whey in the range from 2 to 4% led to a nonlinear increase in the conditional viscosity of the samples. At the same time, the conditional viscosity of serum-based systems increased less intensively than, other things being equal, in water. A great influence of the temperature factor on the process of structuring systems from curd whey and psyllium was revealed. The viscosity of the experimental samples of curd whey with different amounts of psyllium increased when heated, starting from the temperature (50-60) °C, which was noticeable when stirring. Pasteurization of these samples at 80 °C for a period of 20 followed by cooling and thermostating at a temperature of (4 ± 2 °C) for two hours led to gelation of the systems. According to the results of the organoleptic evaluation, the best indicators were characterized by samples of curd whey with a mass dose of 3.5% psyllium. The amount of psyllium added to the serum from 2 to 4% in the finished product will correspond to the concept of "source of dietary fiber". Despite the fact that the patterns obtained under experimental conditions are valid mainly in relation to psyllium and curd whey, they are of practical interest in the technology of processing other types of whey.*

Keywords: *curd whey, dietary fiber, psyllium, conditional viscosity, organoleptic parameters, source of dietary fiber.*

For citation: Gabrielyan, D. S. & Novokshanova, A. L. (2023). Use of psyllium for thickening curd whey. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 38-44. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.005. EDN: <https://elibrary.ru/CHIIWW>.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность переработки вторичного молочного сырья – сыворотки – не снижается. Недавний статистический анализ мирового производства молочной сыворотки показал, что Российская Федерация занимает третье место по этому показателю после стран Евросоюза и США [1].

На сегодняшний день на пищевые цели направляется меньшая часть всей молочной сыворотки. Ущерб от нерационального расходования этого молочного сырья в стоимостном выражении составляет более 90 млрд. руб. и десятки тысяч тонн в сырьевом эквиваленте сывороточных белков, минеральных веществ, молочной кислоты, жира и более 300 тыс. т лактозы ежегодно [1]. При этом эксперты сходятся во мнении, что рынок молочной сыворотки будет стабильно развиваться и к 2023 г. прибавит 17 % в сегменте подсырной и около 3 % творожной сыворотки [1].

Несомненно, наиболее прогрессивный вариант переработки сыворотки – это мембранные процессы [2, 3]. Однако данный путь требует больших капиталовложений для переоснащения предприятия и повышения квалификации обслуживающего персонала.

Другая возможность сохранить молоч-

ную сыворотку в пищевой цепи – это создание инновационных продуктов. Специалистами молочной промышленности разработано немало примеров продуктов с использованием молочной сыворотки в сегменте напитков с разными вкусами [4, 5]. На наш взгляд, расширению переработки сыворотки на пищевые цели будет способствовать развитие другого направления – создание гелей и железированных продуктов.

Основные задачи в технологиях таких продуктов – формирование структурированной системы из жидкого сырья. Пищевая промышленность предлагает множество вариантов загустителей разной природы.

Гипотеза данного исследования состояла в том, что пищевые волокна псиллиума благодаря высокой гидрофильности способны повышать вязкость творожной сыворотки, а цель – изучить загущающие возможности псиллиума в творожной сыворотке.

Псиллиум – это общее название, используемое для нескольких представителей рода растений *Plantago* (подорожника яйцевидного), семена которых используются в коммерческих целях для производства загущающих агентов.

Медико-биологическое обоснование использования псиллиума опирается на имею-

щуюся практику его применения в профилактике и лечении заболеваний желудочно-кишечного тракта (ЖКТ). Пищевые волокна в составе псиллиума неоднородны и выполняют несколько функций в пищеварительном процессе. В исследованиях российских авторов установлено положительное влияние приема волокон псиллиума на нормализацию среды кишечника, его микробиоту и перистальтику как при острых, так и при хронических заболеваниях ЖКТ [6].

Как пищевой ингредиент псиллиум привлекателен отсутствием вкуса и запаха, что особенно ценно в производстве молочных продуктов. Уникальное свойство псиллиума состоит в том, что он связывается с водой и набухает, увеличиваясь до 10 раз в объеме. Из литературных данных известно, что всего 1 г псиллиума впитывает до 45 мл воды [7, 8].

МЕТОДЫ

Состав сыворотки определяли методом инфракрасной спектроскопии на приборе Milkoskan FT. Активную кислотность измеряли с помощью рН-метра марки рН-150МИ потенциометрическим методом [9], титруемую кислотность – титриметрическим методом [10].

Оценку органолептических показателей образцов проводили с использованием балльного метода [11].

Условную вязкость систем определяли по времени истечения образца определенного объема из капилляра лабораторного вискозиметра марки ВЗ-246 [12].

Структурно-механические показатели образцов исследовали методом ротационной вискозиметрии на приборе «Реотест 2.1». Эффективную вязкость рассчитывали по формуле:

$$\eta = \frac{\tau}{\gamma} \cdot 100;$$

где η – эффективная вязкость, Па·с;

τ – сдвигающее напряжение, 10^{-1} Па;

γ – скорость сдвига, s^{-1} .

С целью исследования влияния температуры на консистенцию модельных растворов сыворотки и псиллиума образцы пастеризовали на водяной бане при 80 °С в течение 20 с.

Повторность всех опытов была трехкратной. Математическую обработку данных проводили при помощи Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В работе использовали псиллиум в виде порошка (изготовитель ИП Семисотов А.В.,

г. Лобня, Московская область). Пищевая и энергетическая ценность данного ингредиента представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Пищевая и энергетическая ценность порошка псиллиума

Table 1 – Nutritional and energy value of Psyllium powder

Показатели продукта массой 100 г	Значения
Содержание белка, г	6,6
Содержание жира, г	1,8
Содержание углеводов, г	8,5
Содержание пищевых волокон, г	80,0
Калорийность, ккал	42

Для исследования набухания псиллиума использована вода дистиллированная [13] и сыворотка, получаемая при производстве творога на поточной линии. Макронутриентный состав и физико-химические показатели сыворотки представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-химические показатели творожной сыворотки

Table 2 – Physico-chemical parameters of curd whey

Показатели	Значение
Массовая доля жира, %	0,08±0,02
Массовая доля белка, %	0,73±0,04
Массовая доля лактозы, %	4,57±0,02
Массовая доля сухих веществ, %	5,52±0,04
Титруемая кислотность, °Т	60,0±2,00
Активная кислотность, рН	3,96±0,05

Исследования способности псиллиума к растворению и образованию геля в дистиллированной воде и творожной сыворотке выполнены с учетом информации, указанной на упаковке псиллиума. Производитель пищевых волокон перед их употреблением рекомендует порошок псиллиума растворить в воде при температуре 20–25 °С и выдерживать для набухания в течение 15 минут.

Для определения диапазона внесения псиллиума в модельные системы ориентировались на положения нормативной документации относительно обогащенных и специализированных пищевых продуктов. Согласно требованиям технического регламента Таможенного союза «Пищевая продукция в части ее маркировки» при использовании в маркировке пищевой продукции информации об отличительных признаках, в частности, о том, что продукт является источником пищевых

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПСИЛЛИУМА ДЛЯ ЗАГУЩЕНИЯ ТВОРОЖНОЙ СЫВОРОТКИ

волокон, их содержание в твердой пищевой продукции должно быть не менее 3 г на 100 г и не менее 1,5 г на 100 мл для жидкостей. Для продуктов с высоким содержанием пищевых волокон их содержание должно составлять не менее 6 г на 100 г для твердой пищевой продукции или для жидкостей не менее 3 г на 100 мл [14].

Учитывая состав псиллиума, представленный в таблице 2, расчетным методом вычислено, что для соответствия термину «источник пищевых волокон», минимальное количество псиллиума в 100 мл жидкости должно составлять 1,875 г и достаточное для определения «высокое содержание пищевых волокон» – 3,75 г. На основании этих расчетов выбран интервал внесения псиллиума в модельных системах от 2 до 4 % с шагом 0,5 %.

Модельные системы формировали из сыворотки или воды по отдельности. К навескам псиллиума добавляли по 100 мл воды или сыворотки при температуре 20 °С, образцы тщательно перемешивали и оставляли в покое для набухания на 15 минут.

Результаты опытов показали, что псиллиум хорошо растворялся в воде. Водные растворы псиллиума представляли собой киселеобразные массы разной вязкости с равномерно распределенными по всему объему частицами нерастворимых пищевых волокон псиллиума.

При растворении псиллиума в молочной сыворотке образовывались менее вязкие, чем в воде растворы, с большим, чем в образцах с водой, количеством видимых частиц нерастворившихся пищевых волокон.

И в образцах с водой, и в образцах с сывороткой наблюдали визуально ощутимое при перемешивании повышение вязкости растворов с увеличением массовой доли псиллиума. Математические зависимости условной вязкости воды (y_1) и сыворотки (y_2) от массовой доли псиллиума в системе представлены на рисунке 1.

Из полученных в условиях эксперимента данных следует, что добавление псиллиума в дистиллированную воду или творожную сыворотку ведет к нелинейному увеличению условной вязкости. При этом условная вязкость образцов сыворотки возрастала менее интенсивно, чем при прочих равных условиях в воде.

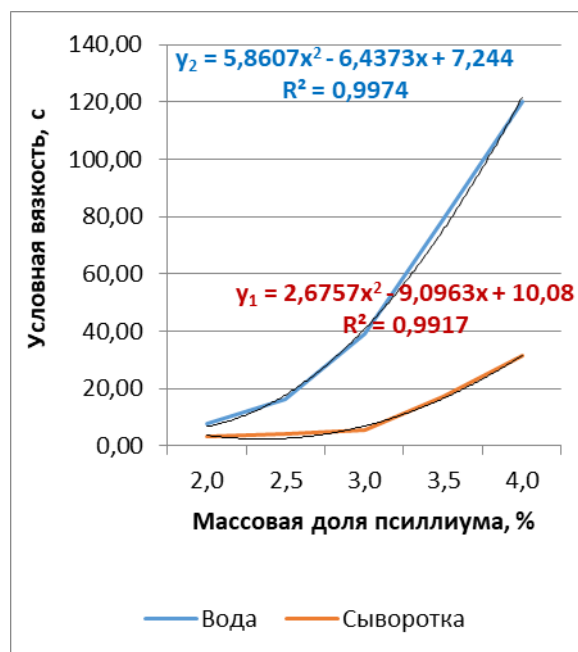


Рисунок 1 – Влияние содержания псиллиума на консистенцию модельных растворов

Figure 1 – The effect of psyllium content on the consistency of model solutions

Для получения безопасных по микробиологическим показателям продуктов их технология предусматривает, как правило, тепловую обработку смеси. Исследование влияния термообработки показало, что при повышении температуры, начиная от (50–60) °С, происходило повышение вязкости опытных образцов, ощущаемое при перемешивании. После пастеризации при 80 °С в течение 20 с образцы охлаждали до температуры (4±2) °С и оставляли в покое. Спустя 2 часа при температуре охлаждения наблюдали образование желеобразной массы.

Результаты влияния пастеризации на эффективную вязкость образцов сыворотки с псиллиумом, полученные методом ротационной визкозиметрии, показаны на рисунке 2.

Очевидно, что после пастеризации эффективная вязкость образцов возросла до нескольких раз по сравнению с аналогичными вариантами без термообработки. Из представленных графиков следует, что пастеризация оказала большое влияние на процесс структурирования систем из творожной сыворотки и псиллиума, что подтверждает и наибольший угловой коэффициент зависимости эффективной вязкости образцов от содержания псиллиума после пастеризации.

Изучение органолептических характеристик образцов сыворотки с псиллиумом после

пастеризации и желирования при (4 ± 2) °С в течение двух часов показало влияние псиллиума и на консистенцию, и на вкус.

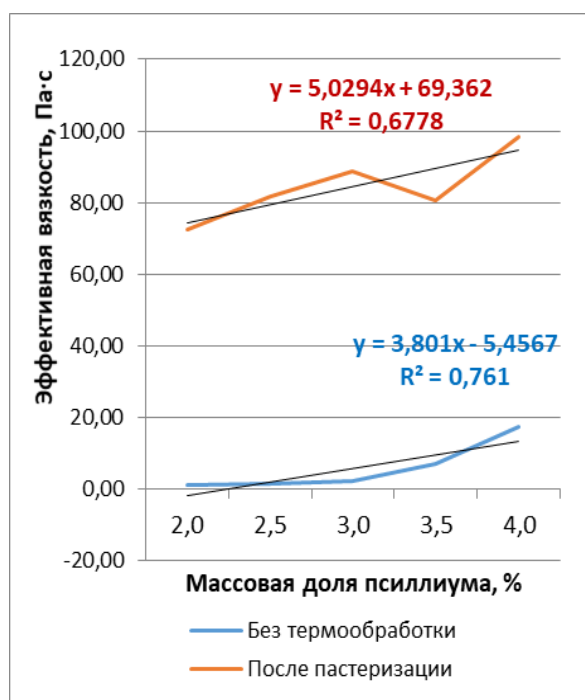


Рисунок 2 – Влияние тепловой обработки на эффективную вязкость образцов сыворотки с псиллиумом

Figure 2 – Effect of heat treatment on the effective viscosity of serum samples with psyllium

Результаты органолептической оценки модельных образцов представлены на рисунке 3. Из диаграмм на рисунке 3 видно, что опытные варианты с массовой долей псиллиума 3,5 % были охарактеризованы лучшими органолептическими показателями. Их консистенция была однородной и желеобразной. Образцы, содержащие 2 % псиллиума, имели слабожелевавшую консистенцию. С повышением доли псиллиума до 4,0 % наблюдали излишнее уплотнение консистенции, которое сопровождалось менее выраженным вкусом сыворотки. Увеличение массовой доли псиллиума повлияло также и на цвет образцов. С увеличением содержания псиллиума цвет становился темнее.

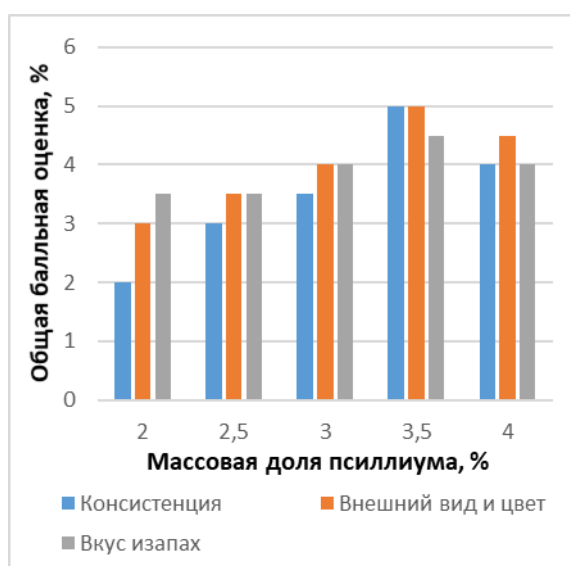


Рисунок 3 – Органолептические показатели образцов в зависимости от содержания псиллиума в системе

Figure 3 – Organoleptic parameters of samples depending on the psyllium content in the system

ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно высказанной гипотезе, подтверждено положительное влияние псиллиума на процесс загущения творожной сыворотки. При этом количество добавленного псиллиума от 2 до 4 % отвечает понятию «источник пищевых волокон».

Результаты выполненных исследований в модельных системах с дистиллированной водой и творожной сывороткой согласуются с общими наблюдениями, что на способность пищевых волокон к растворению и набуханию оказывают влияние состав, физико-химические показатели растворителей и другие внешние факторы [15]. В частности, наличие в сыворотке других растворенных веществ и более кислая по сравнению с водой среда привели к тому, что условная вязкость образцов на основе сыворотки была значительно меньше, чем в образцах с водой. Физико-химические механизмы наблюдаемых изменений требуют дальнейшего изучения. Следовательно, полученные закономерности, справедливы, главным образом, в отношении псиллиума и творожной сыворотки в описанных условиях эксперимента.

Обнаруженное влияние пастеризации смеси при 80 °С в течение 20 с и последующее желирование системы при (4 ± 2) °С в течение двух часов может быть использовано в

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПСИЛЛИУМА ДЛЯ ЗАГУЩЕНИЯ ТВОРОЖНОЙ СЫВОРОТКИ

технологиях желированных продуктов на основе творожной сыворотки с псиллиумом, в том числе в категории «обогащенные пищевыми волокнами».

Авторы планируют дальнейшие исследования использования псиллиума как структурообразователя в зависимости от вида молочной сыворотки, ее состава, соотношения ингредиентов, параметров технологического процесса и других критериев.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенные исследования показали возможность использования псиллиума в качестве гелеобразователя и функционального ингредиента для получения обогащенного желированного продукта с использованием творожной сыворотки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Современное состояние рынка вторичных сырьевых ресурсов молочной промышленности / А.Г. Кручинин [и др.] // Ползуновский вестник. 2022. № 4. Т. 1. С. 140–148. doi : 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.04.018. EDN : <https://elibrary.ru/UHSMMD>.
2. Эволюция переработки молочной сыворотки: прошлое, настоящее и будущее / А.Г. Храмов [и др.] // Современная наука и инновации. 2021. № 2 (34). С. 129–139. doi : 10.37493/2307-910X.2021.2.12.
3. Справочник по переработке молочной сыворотки. Технологии, процессы и аппараты, мембранное оборудование / Г.Б. Гаврилов [и др.]. СПб. : ИД Профессия, 2015. 176 с.
4. Новокшанова А.Л., Ожиганова Е.В. Спортивный напиток с молочной сывороткой // Молочная промышленность. 2014. № 8. С. 56–58.
5. Данильчук Т.Н., Ефремова Ю.Г., Корыстина И.В. Напитки на основе молочной сыворотки и сублиматов проростков растений // Хранение и переработка сельхозсырья. 2020. № 3. С. 69–81. doi : 10.36107/spfp.2020.305.
6. Многоцелевая монотерапия псиллиумом больных дивертикулярной болезнью / И.А. Комиссаренко [и др.] // Гастроэнтерология. 2012. № 3. С. 62–67.
7. Роль пищевых волокон в коррекции пищеварения и запоров различной этиологии / Е.Ю. Плотникова [и др.] // Медицинский совет. 2019. № 14. С. 99–106. doi : [org/10.21518/2079-701X-2019-14-99-106](https://doi.org/10.21518/2079-701X-2019-14-99-106).
8. Ахмедов В.А. Коррекция нарушений микробного состава кишечника как потенциальное звено в комплексной терапии пациентов с COVID-19 // Терапевтический архив. 2022. 94(2). С. 277–282. doi : 10.26442/00403660.2022.02.201388/.
9. ГОСТ 32892-2014 Молоко и молочная

продукция. Метод измерения активной кислотности (с Поправками) : введ. 2016.01.01. Москва : Стандартинформ, 2015. 10 с.

10. ГОСТ 3624-92 Молоко и молочная продукция. Титриметрические методы определения кислотности : введ. 1994.01.01. Москва : Стандартинформ, 2009. 9 с.

11. ГОСТ Р ИСО 22935-3-2011 Молоко и молочные продукты Органолептический анализ. Часть 3. Руководство по оценке соответствия техническим условиям на продукцию для определения органолептических свойств путем подсчета баллов = Milkandmilkproducts. Sensoryanalysis. Part 3. Guidance on a method for evaluation of compliance with product specifications for sensory properties by scoring : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : введен впервые : введен 2013-01-01 Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. Москва : Стандартинформ, 2012. 8 с.

12. Определение условной вязкости на вискозиметр типа ВЗ-246: КиберПедия. URL : <https://cyberpedia.su/12xc415.html> (дата обращения : 04.04.2023).

13. ГОСТ Р 58144-2018. Вода дистиллированная. Технические условия : введ. 2021.07.01. Москва : Российский институт стандартизации, 2022. 11 с.

14. ТР ТС 022/2011 Технического регламента таможенного союза «Пищевая продукция в части ее маркировки»: принят решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 года № 881. Москва : Изд-во стандартов, 2011. 29 с.

15. Разработка рецептуры функционального десерта в виде желе на растительной основе / А.А. Рядинская // Ползуновский вестник. 2022. № 4. Т. 1. С. 7–15. doi : 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.04.001 EDN : <https://elibrary.ru/xwbmic>.

Информация об авторах

Д. С. Габриелян – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии молока и молочных продуктов» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Вологодской государственной молочнохозяйственной академии имени Н.В. Верещагина».

А. Л. Новокшанова – доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «ФИЦ питания и биотехнологии».

REFERENCES

1. Kruchinin, A.G. [et al.]. (2022). The current state of the market of secondary raw materials of the dairy industry. Polzunovskiy vestnik. No. 4. T. 1. P. 32-36 (In Russ.). doi : 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.04.018.

2. Khramtsov, A.G. [et al.]. (2021). Evolution of whey processing: past, present and future. Modern science and innovation. No. 2 (34). P. 129-139 (In Russ.). doi10.37493/2307-910X.2021.2.12.
3. Gavrilov, G.B., Prosekov, A.Yu., Kravchenko, E.F., Gavrilov, B.G. (2015). Handbook of whey processing. Technologies, processes and apparatuses, membrane equipment. Saint Petersburg: ID Profession. (In Russ.).
4. Novokshanova, A.L. & Ozhiganova, E.V. (2014). Sports drink with whey. Dairy industry. No. 8. P. 56-58 (In Russ.).
5. Danilchuk, T.N. Efremova, Yu.G. & Korystina, I.V. (2020). Drinks based on whey and sublimes of plant seedlings. Storage and processing of agricultural raw materials. No. 3. P. 69-81. (In Russ.). doi : 10.36107/spfp.2020.305.
6. Komissarenko, I.A. (2012). Multi-purpose monotherapy with psyllium in patients with diverticular disease. Gastroenterology. No. 3. P. 62-67. (In Russ.).
7. Plotnikova, E.Y. [et al.]. (2019). The role of dietary fiber in the correction of digestion and constipation of various etiologies. Medical Advice. No.14. P. 99-106. (In Russ.). doi : org/10.21518/2079-701X-2019-14-99-106.
8. Akhmedov, V.A. (2022). Correction of intestinal microbial composition disorders as a potential link in the complex therapy of patients with COVID-19. Therapeutic archive. No. 94 (2). P. 277-282 (In Russ.). doi : 10.26442/00403660.2022.02.201388/.
9. Milk and dairy products. Method of pH determination. (2015). GOST 32892-2014 from 1 Jan. 2016. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).
10. Milk and milk products. Titrimetric methods of acidity determination. (2009). GOST 3624-92 from 1 Jan. 1994. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).
11. Milk and milk products. Sensory analysis. Part 3. Guidance on a method for evaluation of compliance with product specifications for sensory properties by scoring (2012). GOST R ISO 22935-3-2011 from 1 Jan. 2013. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).
12. Determination of the conditional viscosity on the vis-cosimeter type VZ-246: CyberPedia. from – <https://cyberpedia.su/12xc415.html>. (In Russ.).
13. Distilled water. Specifications. (2022). GOST R 58144-2018 from 7 Jan. 2021. Moscow : Russian Institute of Standardization (In Russ.).
14. Technical regulations of the Customs Union. Food products in terms of their labeling. (2011). TRTS No. 022/2011 from December 9, 2011. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).
15. Ryadinskaya, A.A. [et al.]. (2022). Development of a recipe for a functional dessert in the form of plant-based jelly. Polzunovskiy vestnik. No. 4. T. 1. P. 7-15 (In Russ.). doi : 0.25712/ASTU.2072-8921.2022.04.001.

Information about the authors

D.S. Gabrielyan - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of "Technologies of Milk and Dairy Products" of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Vologda State Dairy Academy named after N.V. Vereshchagin".

A.L. Novokshanova - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher, Federal State Budgetary Institution of Science "Federal Research Center of Nutrition and Biotechnology".

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 25 апреля 2023; одобрена после рецензирования 18 сентября 2023; принята к публикации 20 ноября 2023.

The article was received by the editorial board on 25 Apr 2023; approved after editing on 18 Sep 2023; accepted for publication on 20 Nov 2023.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.681

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.006

 EDN: FIONPG

ОЦЕНКА ПЕЧЕНЬЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ МЕТОДАМИ КВАЛИМЕТРИИ

Ольга Александровна Орловцева ¹, Мария Владимировна Чубарова ²,
Игорь Алексеевич Никитин ³, Светлана Николаевна Тефикова ⁴,
Мария Вячеславовна Клоконос ⁵

^{1, 3, 4} Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Москва, Россия

^{2, 5} Московского государственного университета технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет), Москва, Россия

¹ starosta1981@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3796-1679>

² chudarovamasha74@mail.ru

³ nikito.igor@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8988-5911>

⁴ teffikova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9086-0781>

⁵ mv.klokonos@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9752-9151>

Аннотация. В настоящее время разработка и выпуск продукции, обладающей профилактическим действием и способной предотвращать развитие алиментарно-зависимых заболеваний, – важная задача для многих предприятий пищевой отрасли. Однако не все из таких продуктов обладают конкурентоспособностью и высокими потребительскими свойствами по отношению к традиционным изделиям. Для достижения поставленной технологической задачи необходимо понимать уровень качества выпускаемой продукции с точки зрения потребителя. Для оценки продукта с данной точки зрения применяют квалиметрические методы. В работе приведена методика изучения уровня качества печенья, предназначенного для профилактики развития заболеваний зрительной системы. В статье сформировано «дерево свойств», на основе которого проведен социологический опрос для установления наиболее важных показателей для потребителя с учетом его понимания функциональных свойств продукта. По результатам были рассчитаны весовые коэффициенты для наиболее значимых характеристик. В результате экспертной оценки, проведенной дифференциальным методом и с помощью расчета обобщенного показателя, был установлен образец печенья, который, с одной стороны, соответствует требованиям нормативной документации и отвечает поставленной задаче, а с другой, он с наибольшей вероятностью будет соответствовать запросам потенциальных потребителей. Данный алгоритм может быть использован на предприятиях, выпускающих продукты питания функционального назначения, для оценки уровня их качества и конкурентоспособности относительно не только разных образцов, но и по отношению к продукции других производителей.

Ключевые слова: квалиметрические методы, качество, функциональные продукты, обобщенный показатель.

Для цитирования: Оценка печенья функционального назначения методами квалиметрии / О. А. Орловцева [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 4. С. 45–53. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.006. EDN: <https://elibrary.ru/FIONPG>.

Original article

EVALUATION OF FUNCTIONAL COOKIES BY QUALIMETRY METHODS

Olga A. Orlovtsseva ¹, Maria V. Chubarova ², Igor A. Nikitin ³,
Svetlana N. Tefikova ⁴, Maria V. Klokonos ⁵

© Орловцева О. А., Чубарова М. В., Никитин И. А., Тефикова С. Н., Клоконос М. В., 2023

1, 3, 4. Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

2, 5 K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (First Cossack University), Moscow, Russia

¹ starosta1981@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3796-1679>

² chudarovamasha74@mail.ru

³ nikito.igor@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8988-5911>

⁴ teffikova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9086-0781>

⁵ mv.kloconos@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9752-9151>

Abstract. *Currently, the development and production of products that have a preventive effect and are able to prevent the development of alimentary-dependent diseases is an important task for many food industry enterprises. However, not all of these products are competitive and have high consumer properties in relation to traditional products. To achieve the set technological task, it is necessary to understand the level of product quality from the point of view of the consumer. To evaluate the product from this point of view, qualimetric methods are used. The paper presents a methodology for studying the quality level of cookies intended for the prevention of the development of diseases of the visual system. The article formed a "tree of properties", on the basis of which a sociological survey was conducted to establish the most important indicators for the consumer, taking into account his understanding of the functional properties of the product. Based on the results, weight coefficients were calculated for the most significant characteristics. As a result of an expert assessment carried out by a differential method and using the calculation of a generalized indicator, a sample of cookies was established, which, on the one hand, meets the requirements of regulatory documentation and meets the task, and on the other hand, it is most likely to meet the needs of potential consumers. This algorithm can be used at enterprises producing functional food products to assess their quality level and competitiveness with respect not only to different samples, but also in relation to products from other manufacturers.*

Keywords: *qualimetric methods, quality, functional products, generalized indicator.*

For citation: Orlovitseva, O. A., Chubarova, M. V., Nikitin, I. A., Tefikova, S. N. & Klokonos, M. V. (2023). Evaluation of functional cookies by qualimetry methods. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 45-53. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.006. EDN: <https://elibrary.ru/FIONPG>.

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире количество людей, стремящихся к здоровому образу жизни и в связи с этим обращающих внимание на состав пищевых продуктов, ежегодно возрастает. При этом еда выполняет не только энергетическую и пластическую функции в организме, но и способствует сохранению, а в некоторых случаях и улучшению здоровья и самочувствия путем снижения риска алиментарно-зависимых заболеваний.

Данные постулаты отражены в концепции оптимального питания [1], которая предусматривает необходимость полного обеспечения макро- и микроэлементами, в том числе целым рядом жизненно важных минорных компонентов пищи. Эти положения стали основой для актуального направления в пищевой индустрии в соответствии с «Стратегией повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года» [2] по конструированию функциональных продуктов. В соответствии с ГОСТ Р 52349-2005 под функциональными продуктами понимают

продукты, предназначенные для систематического употребления в составе пищевых рационов всеми возрастными группами здорового населения с целью снижения риска заболеваний и улучшения здоровья за счет наличия в составе физиологических функциональных пищевых ингредиентов [3].

Однако при создании таких продуктов питания существует высокая вероятность снижения потребительских свойств, что обусловлено специфическими органолептическими характеристиками вводимых ингредиентов [4], их влиянием на реологические свойства и технологические параметры процессов [5]. Еще одним фактором при принятии решения о внедрении продукции в производство является тот факт, что для достижения цели по совершенствованию нутриентного состава может быть разработано несколько образцов, с одной стороны, отвечающих поставленной задаче и требованиям нормативной документации, но, с другой, различающихся по внешнему виду, вкусу, запаху, цвету и другим органолептическим характеристикам. Качество как характеристика суц-

ности объектов и их свойств имеет для потребителя большое практическое значение [6]. Для обеспечения высоких потребительских свойств новых функциональных продуктов питания целесообразно использовать квалиметрические методы.

Квалиметрия позволяет количественно оценить уровень качества и конкурентоспособности изделия, что необходимо при обосновании решений, принимаемых при постановке функционального продукта в производство [7].

МЕТОДЫ

Объектом исследования в работе было печенье с повышенным содержанием каротиноидов, разработанное для профилактики заболеваний зрительной системы [8]. Актуальность введения данного нутриента обусловлена его антиоксидантным действием, так как входящие в состав лютеин и зеаксантин образуют макулярный пигмент, который, в свою очередь, способен нейтрализовать свободные радикалы, способствующие развитию возрастной макулярной дегенерации. Введение в рецептуру тыквы, муки из тыквенных семечек и фисташек способствует обеспечению суточной дозы лютеина и зеаксантина. Входящие в состав продукта витамины Е и С, макро- и микронутриенты (цинк, селен и медь), а также повышенное содержание полиненасыщенных жирных кислот, содействуют, с одной стороны, повышению усвояемости каротиноидов, а, с другой, положительно влияют на саморегуляцию организма [9].

В соответствии с алгоритмом проведения квалиметрической оценки [10] было сформировано «дерево свойств», проведен социологический опрос для установления наиболее важных для потребителей показателей, на основе проведенной экспертной оценки изучен уровень качества дифференциальным методом и рассчитан обобщенный показатель.

Основной целью построения «дерева свойств» является классификация, систематизация и иерархическое построение свойств и характеристик, присущих продукту от групповых к более мелким подгруппам и, в конечном итоге, к единичным показателям и их значениям. В работе данный инструмент применяли для проведения дальнейших социальных исследований.

Социальный опрос проводился в виде анкетирования в социальной сети. Инструментом для проведения опроса является анкета, содержащая структурно-организованные вопросы. При построении анкеты

особый акцент был сделан на функциональные свойства продукта. Таким образом, акцент был смещен с печенья как с такового продукта на возможность получения потенциального позитивного эффекта на зрительную систему. По результатам анкетирования были определены те показатели качества, которые потребителями были выбраны как наиболее значимые, т.е. набрали не менее 50 % предпочтений от респондентов. Для этих показателей рассчитаны единичные весовые коэффициенты m_i по формуле (1) и рассчитаны коэффициенты весомости групповых показателей m_j по формуле (2).

$$m_i = \frac{N_i}{\sum_{i=1}^{n1} N_i}, \quad (1)$$

$$m_j = \frac{N_j}{\sum_{j=1}^{n2} N_j}, \quad (2)$$

где N_i – количество предпочтений в соответствии с социологическими исследованиями по i -му значимому показателю в пределах его группы;

$n1$ – количество показателей, выбранных в соответствии с социологическим исследованием как важные;

N_j – суммарное значение количества предпочтений в соответствии с социологическими исследованиями по j -ой группе показателей, в которых есть единичные показатели, выбранные как значимые;

$n2$ – количество групп, в которых в соответствии с социологическим исследованием есть единичные показатели, выбранные как значимые.

Для выбора наиболее предпочтительного образца и запуска его в производство провели экспертную оценку образцов печенья. Данный метод основан на беспристрастности и объективности эксперта при оценке объекта исследования.

Определение объективности оценки продукта экспертами проводили методом установления согласованности их мнений с помощью вычисления величины коэффициента конкордации Кендалла W_k по формуле (3).

$$W_k = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)}, \quad (3)$$

где m – количество коррелируемых факторов;

n – число наблюдений;

S – сумма квадратов отклонений суммы рангов по m факторам от их средней арифметической.

Сумму квадратов отклонений рангов от среднего арифметического их значения по

всем объектам и экспертам S определяли по формуле (4).

$$S = \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^m Q_{ij} - Q_{cp} \right]^2, \quad (4)$$

где Q_{ij} – оценка в рангах, данная i -му объекту j -м экспертом;

Q_{cp} – среднеарифметическое значение рангов.

Дифференциальный метод оценки уровня качества осуществляется на основе непосредственного сравнения единичных показателей качества оцениваемого вида продукции с соответствующими базовыми показателями. Также дифференциальный анализ позволяет получить наглядную картину, на основании которого можно сделать вывод о предпочтительности экспертами того или иного образца. Для определения уровня качества показателей q_i , когда увеличению абсолютного значения показателя соответствует улучшение качества печенья, использовали формулу (5), когда увеличению абсолютного значения показателя соответствует снижение качества печенья, использовали формулу (6).

$$q_j = \frac{P_i}{P_i^0}, \quad (5)$$

$$q_j = \frac{P_i^0}{P_i}, \quad (6)$$

где P_i – значение i -го показателя качества оцениваемого образца;

P_{i0} – значение i -го показателя качества базового образца.

Расчет обобщенного показателя проводили для получения числового значения уровня качества образцов с применением весовых коэффициентов, рассчитанных с учетом предпочтений потребителей $P_{об}$ по формуле (7)

$$P_{об} = \sum m_j \cdot \left(\sum m_{ij} \cdot q_{ij} \right), \quad (7)$$

где q_{ij} – уровень качества i -го единичного показателя качества в пределах j -ой группы;

m_{ij} – коэффициент весомости i -го единичного показателя качества в пределах j -ой группы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сформированное для печенья с повышенным содержанием каротиноидов «Дерево свойств» (рисунок 1) включает следующие групповые показатели: показатели назначения, эстетические, эргономические, экономические и показатели безопасности. В свою очередь групповые показатели делились на единичные. В группе показателей назначения выделена группа функциональных, куда отнесли показатели пищевой ценности.

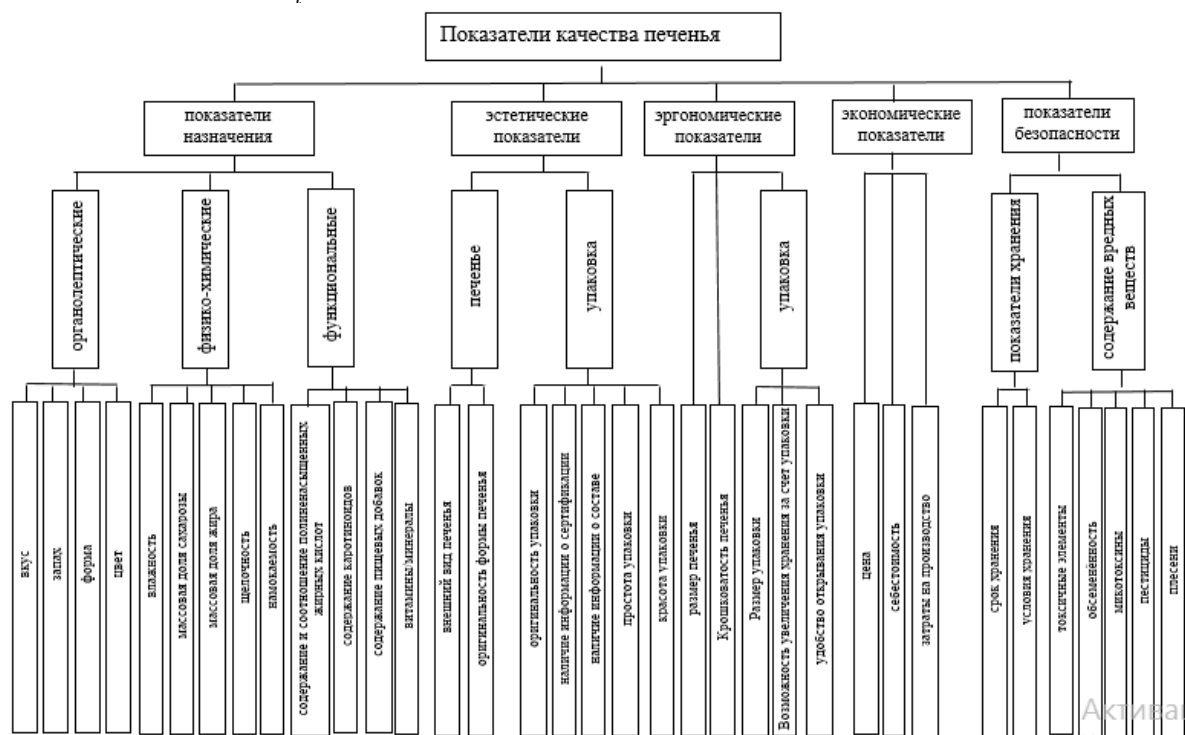


Рисунок 1 – «Дерево свойств» для функционального печенья

Figure 1 – Property tree for cookies

ОЦЕНКА ПЕЧЕНЬЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ МЕТОДАМИ КВАЛИМЕТРИИ

Составленное «дерево свойств» послужило для проведения социологического опроса, направленного на изучение основных потребительских предпочтений при выборе печенья. Опрос проводили с помощью сети Интернет методом анкетирования в марте 2022 года. Для проведения анкетирования было опрошено 528 человек с учетом допустимой погрешности 6 %, степени доверия – 95 %.

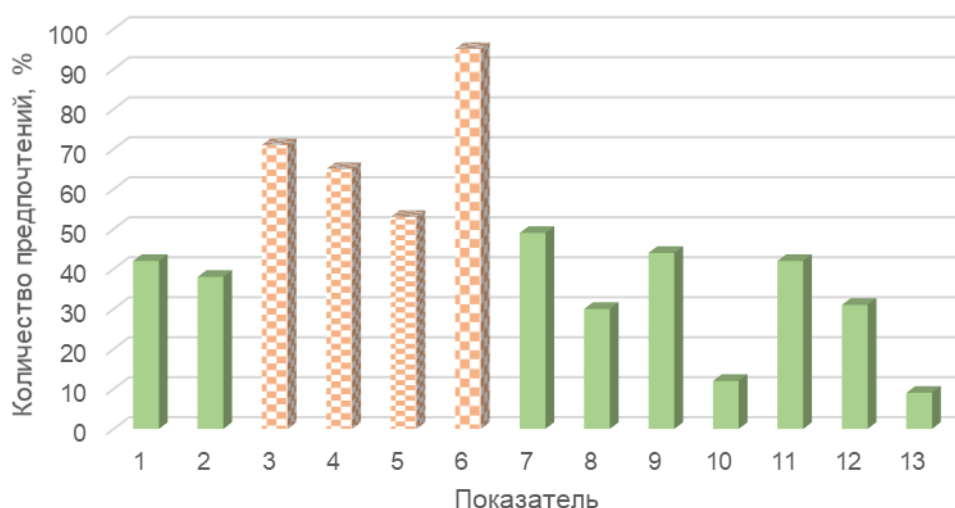
Основные задачи исследования:

- установление количества людей, регулярно употребляющих печенье;
- определение наиболее важных показателей для покупателя при выборе печенья;
- значимость для потребителей функциональных свойств исследуемого объекта.

При составлении анкеты для опрошенных учтен ряд особенностей. Наиболее важно узнать, готов ли потребитель купить печенье с повышенным содержанием каротиноидов по более высокой цене, зная, что продукт обеспечит необходимыми витаминами, макро- и микронутриентами организм, и употреблять его систематически.

Проведенные исследования показали, что более 54 % опрошенных покупают и употребляют печенье не реже 1–2 раза в неделю, а 13 % – ежедневно. При этом 12 % опрошенных указали, что употребляют печенье не чаще 1–2 раза в месяц или не употребляют вообще. Из них 5 % указали, что готовы пересмотреть своё отношение в случае, если продукт будет обладать профилактическим действием. В связи с этим 7 % анкет были удалены из рассмотрения в связи с негативным либо безразличным отношением респондентов к продукту.

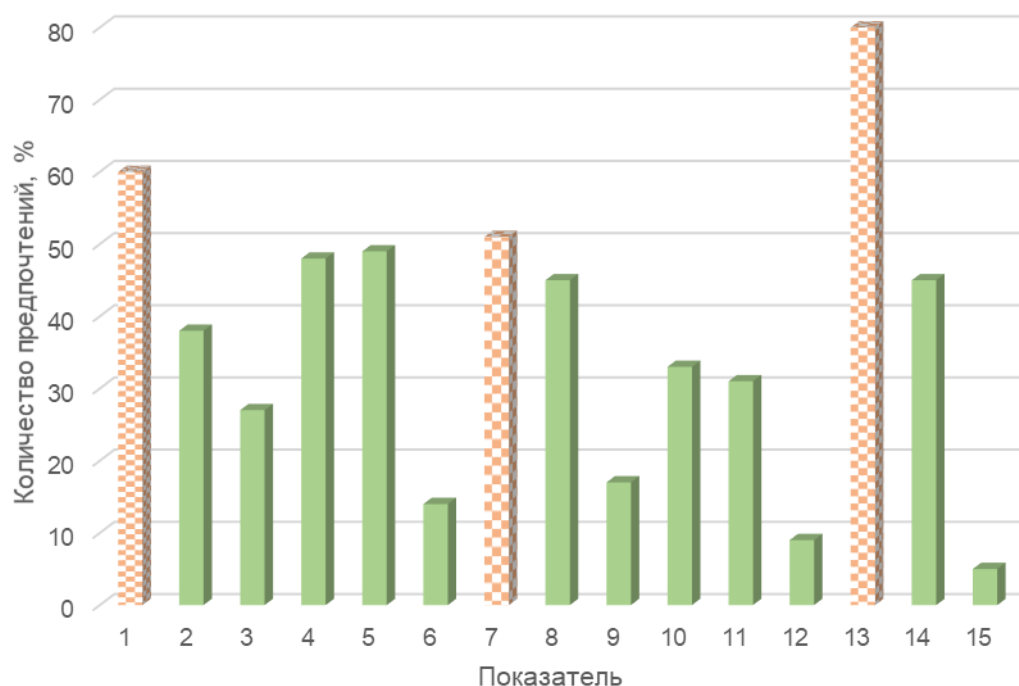
В соответствии с полученными результатами было установлено, что более 50 % предпочтений потребителей набрали показатели, входящие в группы назначения (рисунок 2), экономические и эстетические (рисунок 3), а именно при выборе печенья, предупреждающего развитие заболеваний зрительной системы, наиболее значимыми показателями являлись приятный вкус, эстетичный внешний вид самого изделия, содержание нутриентов, обладающих функциональными свойствами (каротиноидов, витаминов и минеральных веществ), цена, привлекательная упаковка.



1 – полиненасыщенные жирные кислоты; 2 – пищевые добавки; 3 – витамины; 4 – минеральные вещества; 5 – каротиноиды; 6 – вкус; 7 – запах; 8 – форма изделия; 9 – цвет; 10 – массовая доля влаги; 11 – массовая доля сахара; 12 – массовая доля жира; 13 – щелочность

Рисунок 2 – Результаты социологического опроса по показателям назначения для функционального печенья

Figure 2 – The results of a sociological survey on the indicators of appointment for functional cookies



1 – внешний вид печенья; 2 – оригинальность формы; 3 – оригинальность упаковки; 4 – наличие сертификации; 5 – информация о составе; 6 – простота упаковки; 7 – красота упаковки; 8 – размер печенья; 9 – крошковатость; 10 – размер упаковки; 11 – увеличенный срок хранения; 12 – удобство открывания; 13 – цена; 14 – себестоимость; 15 – затраты на производство

Рисунок 3 – Результаты социологического опроса по эстетическим, эргономическим и экономическим показателям для функционального печенья

Figure 3 – The results of a sociological survey on aesthetic, ergonomic and economic indicators for functional cookies

На основании полученных результатов произведен расчет весовых коэффициентов групповых показателей и единичных показателей в каждой группе (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты социологического опроса

Table 1 – Sociological survey results

Единичные показатели	Количество предпочтений, %	Весовой коэффициент m_i	Групповой показатель	Весовой коэффициент m_j
Вкус	95	0,36	Показатели назначения	0,61
Каротиноиды	53	0,19		
Витамины	71	0,25		
Минеральные вещества	65	0,23		
Внешний вид печенья	60	0,55	Эстетические показатели	0,27
Привлекательная упаковка	51	0,47		
Цена	80	1,00	Экономические показатели	0,17

Ориентируясь на показатели, наиболее важные для потребителя, были созданы образцы сахарного печенья, соответствующие требованиям нормативной документации по значениям показателей качества, отвечаю-

щие поставленной задаче по нутриентному составу, но при этом отличающиеся по компонентному составу (таблица 2) и потребительским свойствам.

ОЦЕНКА ПЕЧЕНЬЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ МЕТОДАМИ КВАЛИМЕТРИИ

Таблица 2 – Количество сырья введенных в рецептуру

Table 2 – The amount of raw materials introduced into the recipe

Ингредиенты	Содержание компонента, г		
	образец № 1	образец № 2	образец № 3
Пшеничная мука в/с	40,0	30,0	30,0
Мука из тыквенных семечек	20,0	10,8	12,0
Картофельный крахмал	5,0	–	5,0
Тыквенное пюре	7,0	19,4	10,0
Сахарная пудра	16,0	–	16,0
Сахар	–	20,8	–
Инвертный сироп	3,0	–	5,0
Оливковое масло	9,0	8,2	–
Рыжиковое масло	–	–	10,0
Фисташки	–	3,6	6,0
Сушеная брусника	–	7,2	6,0

Разработанные образцы подвергли экспертной оценке. В работе участвовали 5 человек. Выставление оценок проводили по 10-балльной шкале по значимым для потребителей показателям. Эксперты оценивали вкус и внешний вид печенья методом дегустации, внешний вид упаковки – визуально, нутриентный состав – сравнением со значениями в соответствии с рекомендациями по суточным нормам употребления, цену – по уровню себестоимости сырья.

Оценки экспертов по каждому показателю суммировали. Рассчитанный коэффициент конкордации Кендалла, равный 0,68, показал высокую согласованность экспертов.

Суммарные значения, полученные по результатам экспертной оценки, были обработаны двумя методами: методом дифференциального анализа и расчетом обобщенного показателя. В качестве контрольного образца выбрано сахарное печенье, изготовленное по стандартной рецептуре без внесения функциональных ингредиентов.

Дифференциальный анализ – метод оценки уровня качества изделий, основанный на сопоставлении единичных показателей качества рассматриваемых продуктов с соответствующими показателями базового образца. При данном методе оценки уровня качества продукции количественно оцениваются отдельные свойства изделия, и это позволяет принимать конкретные решения по управлению качеством данной продукции.

На основании полученного графика (рисунок 4), можно сделать вывод о предпочтительности образца 3. Он имеет наилучшие результаты по вкусу и содержанию каротиноидов, значение уровня показателя качества по показателям внешнего вида печенья и це-

ны был хуже контрольного образца, однако был выше по сравнению с остальными образцами.

Дифференциальный анализ позволяет визуально оценить уровень качества по сравнению с контрольным, но не учитывает значимость каждого показателя. В связи с этим в работе был произведен расчет обобщенного показателя (таблица 4).

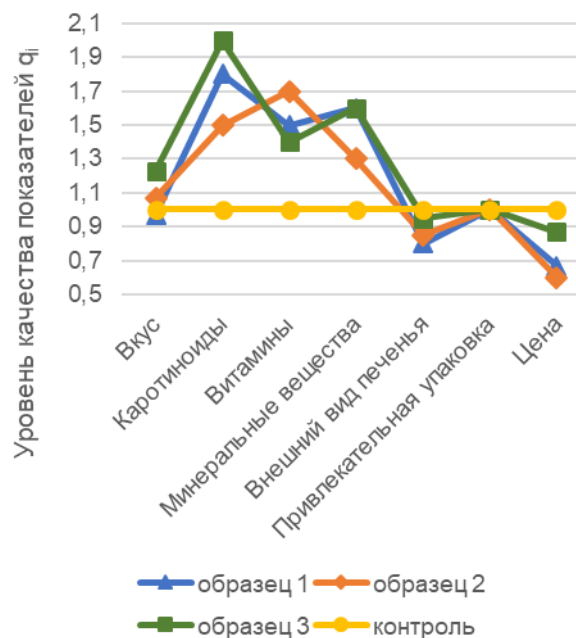


Рисунок 4 – Результаты дифференциального метода

Figure 4 – Results of the differential method

Таблица 4 – Результаты расчета обобщенного показателя

Table 4 – The results of the calculation of the generalized indicator

Показатели	Уровень показателя качества q_i			Обобщенный показатель $P_{об}$		
	образец 1	образец 2	образец 3	образец 1	образец 2	образец 3
Вкус	0,97	1,07	1,23	1,16	1,13	1,27
Каротиноиды	1,80	1,50	2,00			
Витамины	1,50	1,70	1,40			
Минеральные вещества	1,60	1,30	1,60			
Внешний вид печенья	0,80	0,85	0,95			
Привлекательная упаковка	1,00	1,00	1,00			
Цена	0,67	0,60	0,87			

Полученные в результате расчета значения обобщенного показателя для исследуемых образцов подтвердили высокий уровень качества образца 3 по сравнению с двумя другими, что позволяет именно его рекомендовать для постановки на производство.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, методы квалиметрической оценки являются важным инструментом при принятии решения о постановке на производство новой продукции, в том числе с заданными свойствами. Применение такого вида оценки позволяет учитывать мнение потребителей и тем самым повышать конкурентоспособность функциональных продуктов питания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тутельян В.А. Здоровое питание для общественного здоровья // Общественное здоровье. 2021. № 1. С. 56–64. DOI : 10.21045/2782-1676-2021-1-1-56-64.
2. Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года. Москва. URL : <http://static.government.ru/media/files/9JUDtBOPqmoAatAhvT2wJ8UPT5Wq8qlo.pdf> (дата обращения: 19.01.2023).
3. ГОСТ Р 52349-2005. Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения : введ.2006-07-01. Москва, 2006 г. 4 с.
4. Пащенко Л.П., Никитин И.А., Парченко О.С. Экструдированная композиция как компонент питательной смеси жидких биологических разрыхлителей // Хлебопечение России. 2004. № 5. С. 26–28.
5. Комбинированная смесь для выработки хлебулочных изделий / Л.П. Пащенко [и др.] // Хлебопечение России. 2004. № 4. С. 19–21.
6. PROTEIN AI Advisor : A Knowledge-Based

Recommendation Framework Using Expert-Validated Meals for Healthy Diets / Kiriakos Stefanidis [и др.] // Nutrients. 2022. № 14. P. 1–28. DOI : 10.3390/nu14204435.

7. Янковская В.С. Квалиметрические методы при управлении качеством и разработке продуктов здорового питания // Управление качеством в образовании и промышленности : сборник статей Всероссийской научно-технической конференции. Севастополь : СевГУ. 2020. С. 468–474.

8. Bondar N. Functional products, their properties and functions // The Scientific Heritage. 2020. № 56. С. 6–15.

9. Чубарова М.В., Орловцева О.А., Тефикова С.Н. Разработка рецептуры сахарного печенья для потребителей с предрасположенностью к возрастной макулярной дегенерации // Ползуновский вестник. 2022. № 1. С. 86–94. DOI : 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.01.012.

10. Квалиметрическая оценка продуктов питания / Л.Э. Глаголева [и др.] // Молочная промышленность. 2018. № 7. С. 20–23. DOI : 10.31515/1019-8946-2018-7-20-23.

Информация об авторах

О. А. Орловцева – кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО "Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова".

М. В. Чубарова – студент 1 курса направления подготовки магистров 19.04.05 Московского государственного университета технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет).

И. А. Никитин – доктор технических наук, доцент ФГБОУ ВО "Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова".

С. Н. Тефикова – кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО "Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова".

М. В. Клоконос – кандидат технических наук, доцент кафедры «Биотехнологии продуктов питания из растительного и животного сырья» Московского государственного университета технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет).

management in education and industry». Sevastopol: SevSU. 2020. 468-474. (In Russ.).

8. Bondar, N. (2020). Functional products, their properties and functions. *The Scientific Heritage*, (№ 56). 6-15. (In Russ.).

9. Chubarova, M.V., Orlovtsseva, O.A. & Tefikova, S.N. (2022). Development of a recipe for sugar cookies for consumers with predisposition to age-related macular degeneration. *Polzunov Vestnik*, (No. 1). 86-94. (In Russ.). DOI : 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.01.012.

10. Glagoleva, L.E., Orlovtsseva, O.A., Kleimenova, N.L. & Polyansky, K.K. (2018). Qualimetric assessment of food products. *Dairy industry*, (№ 7). 20-23. DOI : 10.31515/1019-8946-2018-7-20-23. (In Russ.).

REFERENCES

1. Tuteljan, V.A. (2021). Healthy nutrition for public health. *Public Health*, (№ 1), 56-64. (In Russ.). doi : 10.21045/2782-1676-2021-1-1-56-64.

2. Strategy to improve the quality of food products in the Russian Federation until 2030. Moscow. URL : <http://static.government.ru/media/files/9JUDtBOPqmoAatAhvT2wJ8UPT5Wq8qlo.pdf> (In Russ.).

3. Food products. Functional food products. Terms and definitions. (2006). HOST P 52349-2005 : from 1 Jul. 2006. Moscow, Standards Publishing House. (In Russ.).

4. Paschenko, L.P., Nikitin, I.A. & Parchenko, O.S. (2004). Extruded composition as a component of the nutrient mixture of liquid biological leavening agents. *Russian bakery*, (№ 5), 26-28. (In Russ.).

5. Pashchenko, L.P., Nikitin, I.A., Vasilyeva, Y.V. & Lagodenko, M.V. (2004). Combined mixture for production of bakery products. *Russian bakery*. (№ 4). 19-21.

6. Kiriakos Stefanidis [et al]. (2022). PROTEIN AI Advisor: A Knowledge-Based Recommendation Framework Using Expert-Validated Meals for Healthy Diets. *Nutrients*. (№ 14). 1-28. DOI : 10.3390/nu14204435. (In Engl.).

7. Yankovskaya, V.S. Qualimetric methods in quality management and development of healthy food products. *Collection of articles of the All-Russian Scientific and Technical Conference*. «Quality

Information about the authors

O. A. Orlovtsseva - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Plekhanov Russian University of Economics.

M. V. Chubarova - student of the 1st year of the master's degree 19.04.05K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (First Cossack University).

I. A. Nikitin - Doctor of Technical Sciences, Plekhanov Russian University of Economics.

S. N. Tefikova - Candidate of Technical Sciences, Plekhanov Russian University of Economics.

M. V. Klokonos - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Biotechnology of Food Products from Plant and Animal Raw Materials K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (First Cossack University).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 02 марта 2023; одобрена после рецензирования 18 сентября 2023; принята к публикации 20 ноября 2023.

The article was received by the editorial board on 02Mar 2023; approved after editing on 18 Sep 2023; accepted for publication on 20 Nov 2023.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 663.051.2

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.007



ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ПИЩЕВЫХ ДОБАВОК В ВИДЕ МИКРОКАПСУЛИРОВАННЫХ СИНБИОТИКОВ

Владимир Григорьевич Попов ¹, Виктория Вячеславовна Аксентьева ²

^{1,2} Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

¹ popovvg@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5902-1768>

² aksentevavv@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7154-8944>

Аннотация. Природные биоактивные соединения и живые микроорганизмы являются перспективными источниками конструирования пищевых продуктов с полезными свойствами для здоровья человека. Главной проблемой широкого использования данных компонентов является их деградация в процессе тепловой обработки и хранения. Решение проблемы может быть найдено в процессе микрокапсулирования биологически активных веществ с целью сохранения и стабилизации функциональных соединений, а также способность внешней оболочки высвободить их в необходимые разделы ЖКТ.

Актуальность исследований обусловлена проектированием синбиотика, состоящего из каллусной массы арктического фитосырья, содержащего значительное количество полифенольных соединений, полученной методом культивирования листовых продуцентов в стерильных лабораторных условиях, а также пробиотических микроорганизмов, выпускаемых промышленностью. Установлено, что содержание гликозидов в каллусной ткани ниже, чем в растении, содержание бензойной кислоты также понижено. Однако наблюдается увеличение содержания флавоноидов от 12,6 % до 16,5 % в каллусной массе. По результатам исследований установлено, что наибольшие объёмы прироста биомасс выявлено через 35 суток. Комплексное соединение содержало в значительном количестве клетчатку до 18,2 мг/100, полифенольные соединения до 515,5 мг/10. Полученная продукция представляла собой светло-коричневый порошок с влажностью 5,8–7,0 %, направлялась для процесса микроинкапсуляции в качестве ядра.

Ключевые слова: синбиотик, комплексная пищевая добавка, пребиотик, пробиотик, дисбактериоз, кондитерские изделия.

Для цитирования: Попов В. Г., Аксентьева В. В. Проектирование комплексных пищевых добавок в виде микрокапсулированных синбиотиков // Ползуновский вестник. 2023. № 4, С. 54–61. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.007. EDN: <https://elibrary.ru/FOURPP>.

DESIGN OF COMPLEX FOOD SUPPLEMENTS IN THE FORM OF MICROCAPSULATED SYNBIOTICS

Vladimir G. Popov ¹, Victoria V. Aksentieva ²

^{1,2} Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia

¹ popovvg@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5902-1768>

² aksentevavv@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7154-8944>

Abstract. Natural bioactive compounds and living microorganisms are promising sources for the design of food products with beneficial properties for human health. The main problem of the widespread use of these components is their degradation during heat treatment and storage. The solution

to the problem can be found in the process of microencapsulation of biologically active substances in order to preserve and stabilize functional compounds, as well as the ability of the outer shell to release them into the necessary sections of the gastrointestinal tract.

The relevance of research is due to the design of a synbiotic consisting of the callus mass of Arctic phyto-raw materials containing a significant amount of polyphenolic compounds, obtained by cultivating leaf producers in sterile laboratory conditions, as well as probiotic microorganisms produced by industry. It has been established that the content of glycosides in the callus tissue is lower than in the plant, the content of benzoic acid is also reduced. However, there is an increase in the content of flavonoids from 12.6% to 16.5% in the callus mass. According to the results of the research, it was found that the largest volumes of biomass growth were detected after 35 days. The complex compound contained a significant amount of fiber up to 18.2 mg/100, polyphenolic compounds up to 515.5 mg/10. The resulting product was a light brown powder with a moisture content of 5.8-7.0%, sent for the microencapsulation process as a core.

Keywords: synbiotic, complex nutritional supplement, prebiotic, probiotic, dysbacteriosis, confectionery.

For citation: Popov, V. G. & Aksentieva, V. V. (2023). Design of complex food supplements in the form of microcapsulated synbiotics. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 54-61. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.007. EDN: <https://elibrary.ru/FOURPP>.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие функциональных продуктов питания в РФ сдерживается из-за практически полного отсутствия пищевых ингредиентов и субстанций с экспериментально доказанными физиологическими свойствами, методами оценки и подтверждением эффективности [1].

Профессор Николаев Ю.А. с группой ученых выявили, что благодаря содержанию полифенольных соединений дикорастущие листья брусники, подорожника и зверобоя проявляют антиоксидантный эффект, прежде всего, за счёт содержания флавоноидов. Однако полезные свойства сырья не могут являться суммой фармакологически активных компонентов. Ценность сырья возрастает с наличием в них веществ, образующих биологические комплексы, действующие как синергетики [4].

Хорошо известно, что пребиотики – это углеводы, которые не расщепляются в верхних отделах желудочно-кишечного тракта, но являются источником питания для нормальной микрофлоры кишечника. В высокоширотных условиях всасывание углеводов из растительной пищи через кишечную стенку затруднено, поэтому важность совершенствования «арктического питания» заключается в обеспечении организма клетчаткой и витаминами в необходимых объёмах [4].

В данных исследованиях получены комплексные пребиотики, способные функционировать в качестве «питательной среды» для полезных видов бактерий кишечника, оказывающие повышенный профилактический эффект. Известны эксперименты Distrutti E. и других итальянских ученых, установивших,

что при выраженной тревожности у пациентов с синдромом раздражённого кишечника при ежедневном приёме пребиотической смеси, состоящей из галактоолигосахаридов в течение четырёх недель, снижалось чувство тревоги, что положительно влияло на качество жизни [5].

Пребиотики – это полезные микроорганизмы с иммуностимулирующей активностью, которые способствуют защите от желудочно-кишечных инфекций [6].

Среди специалистов и диетологов однозначного мнения о пользе приёма пробиотиков для лечения желудочно-кишечных заболеваний пока нет, несмотря на многочисленные исследования, в которых отмечаются положительные эффекты.

Например, при диабете II степени добавление пробиотиков в течение восьми недель предотвращает повышение FPG, снижает уровень hs-CRP в сыворотке и увеличивает общий GSH в плазме [7].

При диарее живые пробиотики высокой концентрации (10^{10} КОЕ/мл) замедляют сокращение мышц толстой кишки [8].

При ревматоидном артрите приём добавок пробиотика в течение 8 недель снижает активность заболевания, уровень инсулина и его выделение [9].

Полезные бактерии вырабатывают короткоцепочечные жирные кислоты, которые усиливают связи между клетками кишечника, препятствуя попаданию токсичных соединений в кровотоки [10]. Когда численность нормальной микрофлоры снижается, изменяется состав кишечной слизи – муцина. В связи с этим защитный барьер слабеет, развивается так называемый «синдром дырявого кишеч-

ника» – токсины из пищеварительной системы попадают в кровоток, запуская системное воспаление [11]. Пробиотики и пребиотики предотвращают рецидив колита по мнению китайских ученых [12].

Специалистами установлена взаимосвязь между нарушениями антиоксидантной защиты и нарушением микробиологического равновесия в кишечном биоценозе, провоцирующем развитие дисбактериоза [15].

Ценность дикорастущих листьев брусники обусловлено наличием в растении фенольного гликозида арбутина, а также урсоловой кислоты и фитонцидов. Фитонциды листьев подавляют рост золотистого стафилококка, оказывают деминерализующее действие, повышают эффективность антибиотиков, стимулируют фагоцитоз и другие защитные силы организма [16].

По мнению Лубсандоржиевой Н.Б., во флавоноидный состав листьев *Vaccinium vitis-idaea* L. входят: кемпферол, кверцитрин, рутин, лютеолин обладающие высокой антиоксидантной активностью, в которую большой вклад вносит 3',4'-дигидроксибензильная группировка кольца В [17].

По уровню содержания флавоноидов в органах *V. Vitis-idaea* формируется следующая закономерность: листья текущего года (28,0 мг/г) > многолетние листья (24,1 мг/г) > побеги (19,2 мг/г) > корни (12,0 мг/г). Повышенное содержание флавоноидов у молодых органов *V. vitis-idaea* объясняется особенностями биосинтеза (более интенсивный обмен веществ в молодых тканях).

Химический состав *V. vitis-idaea* значительно изменяется с увеличением возраста листьев, что выражается в уменьшении концентраций целлюлозы, лигнина и стехиометрических показателей (лигнин/целлюлоза, лигнин/N), но значительно повышается содержание фенольных соединений и конденсированных танинов. Содержание лигнина и целлюлозы определяли путем обработки пробы 72 % серной кислотой, после предварительного кипячения в растворе ЦТАБ (10 г) цетилтриметиламмония бромид в 1 л 0,5 M H₂SO₄) [18].

Дикорастущие листья подорожника большого (*Plantago major* L.) содержат белки – 4,0 г/100, углеводы – 15,2 г/100, пищевые волокна – 2,1 г/100, содержат фенольный гликозид аукубин, флавоноиды (байкалин, скутеллярин), полисахариды, дубильные вещества, слизи, каротиноиды (ксантофил), кремниевую, олеановую, цитриновую и аскорбиновую кислоты, витамин К [19].

Дикорастущие листья зверобоя проды-

рявленного (*Hypericum perforatum* L.) содержат флавоноиды (1,5–5 %), дубильные вещества (10–13 %), эфирное масло (0,1–0,33 %). Флавоноиды представлены такими соединениями, как гиперозид 1,2 %, рутин, кверцитрин, изокверцитрин, кверцетин, антоцианы (5–6 %) [20].

Сухая выжимка плодов тыквы содержит не более 6,0 % воды. Сухой остаток состоит из 4,6–15 % сахаров, 24,5 % клетчатки, 3,54 % пектинов, 0,18 % сырого жира, 0,56 % кислот, 0,52 % золы, 1,41 мг на 100 г аскорбиновой кислоты, 68,3 мг на 100 г ретинола [13].

Каллусная культура, полученная на питательной среде Андерсона, представляет собой продукт с высоким содержанием витаминов и гликозидов, способная адсорбировать воду и набухать, вызывая слабительное действие [22].

Целью научных исследований является проектирование комплексной пищевой добавки в виде синбиотика на основе каллусной биомассы, полученной из листовых продуцентов арктического растительного сырья в стерильных условиях, содержащего значительное количество полифенольных соединений, олиго- и полисахаридов, а также клетчатки, выполняющих функции пребиотика и пробиотика, представляющего живые непатогенные микроорганизмы, способные восстанавливать слизистую оболочку кишечника.

МЕТОДЫ

Объектами исследований являются культуры клеток листьев брусники обыкновенной *V. vitis-idaea* L. (сорт Костромичка), подорожника большого (*P. major*), зверобоя продырявленного (*Hypericum perforatum* L.), собранных на арктической территории ЯНАО и сушеную мякоть тыквы, произведённой компанией ООО "ЯГОДЫ СИБИРИ" (г. Тюмень), микрокапсулы.

Процентное содержание гликозидов, количество полифенольных соединений, бензойной кислоты, витаминов В₉ определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии.

Содержание танинов, водорастворимых титриметрическим методом.

Количество ликопина спектрофотометрическим методом.

Содержание клетчатки, каротина определяли по содержанию сырой клетчатки методом Геннеберга и Штомана.

Процентное содержание флавоноидов фотоколориметрическим методом, содержание лигнина колориметрическим методом Фолина–Дениса.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ПИЩЕВЫХ ДОБАВОК В ВИДЕ МИКРОКАПСУЛИРОВАННЫХ СИНБИОТИКОВ

Количество витамина С определяли титриметрическим методом по ГОСТ 24556-89, витамина РР (НЭ) фотометрическим методом по ГОСТ Р 50479-93, витамина В₂, мг – методом Бейта–Смита.

Основным этапом исследований являлось культивирование тканей и клеток *in vitro* в культуральной комнате, полученных из культуры клеток молодых листьев арктических растений, собранных в мае месяце, с целью их применения для получения комплексных пищевых добавок. В качестве эксплантов использовали стерильные листья растений, которые в условиях ламинарного бокса предварительно выдерживали в 75 % этаноле в течение 2 минут, затем в 15 % перекиси водорода 3 минуты, затем промывкой в стерильной дистиллированной воде [21]. Использовали поверхностный способ культивирования на полутвердой агаризованной среде в течение 5 недель для получения биомассы. После получения БАВ их подвергли высушиванию методом распылительной сушки в течение 25 сек. После процесса сушки и измельчения были получены порошкообразные сухие вещества с влажностью не более 6,0 % и размером не более 0,4 мкм. Концентраты полученных из культуры клеток листьев брусники, подорожника, зверобоя, а также семян тыквы, представленных в порошкообразном виде, соединяли в биохимическом реакторе марки Unik-150-2 при температуре 65 °С в соотношении 40:10:30:15, в качестве эмульгатора использовали рапсовый лецитин, в количестве 5,0 % от общей массы для получения комплексного соединения. Осуществляли физические и химические условия культивирования БАВ, для достижения максимального содержания вторичных метаболитов.

На следующем этапе полученную смесь обогащали сухим пробиотиком, промышленного изготовления, содержащих бактерии *Lactobacillus acidophilus* и *Streptococcus salivarius* наиболее термолабильные, выдерживающие максимальную температуру до +75 °С. После интенсивного перемешивания обогащенную смесь подвергли распылительной сушке при температуре входящего воздуха 120 °С, продолжительностью 15 сек., охлаждению до температуры +25 °С и измельчения до размеров 10⁻⁹ мкм. Полученная продукция представляла собой светло-коричневый порошок с влажностью 5,8–7,0 %, направлялась для процесса микроинкапсуляции в качестве ядра.

В качестве оболочки капсул использовали модифицированный картофельный крахмал, лецитин из сибирского рапса и мальто-

декстрин в соотношении 7:2:1. На лабораторной установке методом напыления в псевдоожоженном слое получали микрокапсулы с размером 10⁻⁶ мкм, с соотношением оболочка (скорлупа) : ядро как 40:60. Полученные микрокапсулы хранили в закрытом сосуде при температуре -18 °С.

Концентрацию полифенольных соединений в образцах кондитерских изделий проводили на высокоэффективном жидкостном хроматографе фирмы GILSTON, модель 305 с последующей компьютерной обработкой результатов исследований. Содержание кверцетина составило 2,15±0,21 %, дегидрокверцетина – 2,75±0,21 %. Количественное определение флавоноидов в пробах проводили фотоколориметрическим методом при длине волны 650 нм. Расчет количества флавоноидов и фенольных соединений производили по калибровочным графикам, построенным по кверцетину. Содержание суммы флавоноидов в готовой мармеладной начинке составило 750,5±8,50 мг/100 г.

Основу кексов готовили по рецептуре из Сборника рецептур мучных кондитерских и булочных изделий для предприятий общественного питания № 82 Кекс "Столичный". Начинку по рецептуре № 118 «Начинка фруктовая». Принято решение разработанный синбиотик использовать в качестве пищевой добавки при производстве ягодной начинки, используемой для производства кондитерских изделий после проведения теплового воздействия.

При охлаждении мучного полуфабриката до 30 °С заполняли ягодной начинкой. Начинка содержит в рецептуре ягодное брусничное пюре, сахар 2:1 и агар-агар 100:1 по отношению к пюре, обогащённая синбиотиком в количестве 12/100 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ

После очистки целевого продукта из сложной питательной смеси проведены сравнительные исследования по определению химического состава, пищевой ценности и содержанию вторичных метаболитов в калусных культурах и дикорастущих нативных листьях.

Определено, что концентрация полифенолов для многолетних листьев и листьев текущего года, собранных на арктической территории ЯНАО и на юге Тюменской области, отличается незначительно и составляет в среднем 32,5 мг/г и 28,2 мг/г. В молодых побегах арктического сырья полифенолов содержится 38,1,1 мг/г, а в корнях – 26,5 мг/г.

Результаты исследований химического

состава нативного дикорастущего арктического сырья и каллусных масс, полученных синтезом из культур клеток, представлены в таблице 1. Как видно из таблицы 1, содержание гликозидов в каллусной ткани ниже, чем в растениях, содержание бензойной кислоты также меньше. Однако наблюдается увеличение содержания флавоноидов от 12,6 % до 16,5 % в каллусной массе. Результаты исследований позволили подтвердить эффективность использования метода культивирования каллусной культуры клеток с целью получения каллусных масс, содержащих значительное количество биологически активных веществ, прежде всего, полифенольных соединений, и данная технология может быть рекомендована в качестве потенциального источника сырьевых ресурсов для получения биологически активных веществ.

На рост биомассы оказывает влияние температура и pH среды. Установлен оптимальный уровень pH $5,7 \pm 0,3$, температура в пределах 25–26 °C. Содержание витаминов в натуральном растении и в каллусных массах представлено в таблице 2. По результатам таблицы видно, что содержание в каллусе витамина С, каротина, витаминов группы В больше, чем в нативном растении.

Формирование комплексного соединения обеспечивает более полное усвоение минеральных веществ, вторичных метаболитов из растительного сырья в организме человека, по сравнению со смесью аналогичных концентратов [23]. Прирост биомассы каллусных клеток в течение 35 суток изображен на рисунке 1.

По результатам исследований установлено, что наибольший прирост биомассы наблюдался в период между 30 и 40 сутками. На рисунке 1 отражены результаты контроля-

ных точек измерений. Наибольшие объемы прироста биомасс выявлено через 35 суток. Комплексное соединение содержало в значительном количестве клетчатку до 18,2 мг/100, полифенольные соединения до 515,5 мг/100 и их вторичные метаболиты (ресвератрол, гемперидин, антоцианы, фенольные кислоты). Содержание клетчатки и полифенольных соединений в комплексной пищевой добавке является важнейшим компонентом для обогащения пищевых продуктов, используемых в рационах питания населения, проживающего и работающего на арктических территориях.

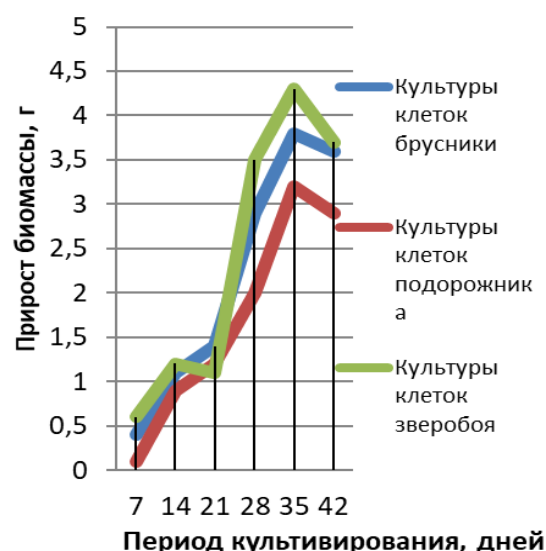


Рисунок 1 – Прирост биомассы каллусных клеток в процессе культивирования в течение 42 суток

Figure 1 – The increase in the biomass of callus cells during cultivation for 42 days

Таблица 1 – Химический состав нативного дикорастущего арктического сырья и каллусных масс, полученных синтезом из культур клеток

Table 1 – Chemical composition of native wild-growing Arctic raw materials and callus masses obtained by synthesis from cell cultures

Показатели	Содержание в 100 г. сырья					
	Листья брусники		Листья подорожника		Листья зверобоя	
	природные	каллус	природные	каллус	природные	каллус
Гликозиды, %	9,0±0,1	8,4±0,08	12,2±0,09	7,5±0,08	7,2±0,1	8,6±0,08
Танины водорастворимые, %	5,1±0,01	7,9±0,02	4,3±0,1	6,3±0,02	9,8±0,09	11,7±0,01
Бензойная кислота, мг	95,5±0,1	75,2±1,2	64,1±1,5	58,7±0,9	72,5±1,0	60,1±0,1
Ликопин	1,5±0,08	2,1±0,1	0,5±1,0	0,7±0,5	1,2±0,01	0,8±0,08
Клетчатка, мг	1,6±0,01	1,8±0,1	7,4±0,01	8,2±0,01	1,2±0,01	0,9±0,01
Флавоноиды, %	12,3±1,5	15,5±1,6	5,7±0,1	7,2±0,9	14,8±0,9	17,2±1,3
Полифенольные соединения, мг.	162,5±0,1	184,1±0,09	215,5±0,01	243,1±0,5	480,4±0,09	415,7±0,1
Лигнин, %	3,2±0,05	2,5±0,05	1,7±0,02	1,5±0,01	2,7±0,05	2,1±0,02

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ПИЩЕВЫХ ДОБАВОК В ВИДЕ МИКРОКАПСУЛИРОВАННЫХ СИНБИОТИКОВ

Результаты исследований позволили использовать исследуемое растительное сырьё для выращивания каллусных культур с целью получения стерильных растительных концентратов, пригодных для проектирования натурального пребиотика, способного транс-

портировать активные вещества в нижние отделы желудочно-кишечного тракта для наиболее эффективного всасывания клетками слизистой оболочки действующих веществ растений.

Таблица 2 – Содержание витаминов и минеральных веществ в нативных растениях и каллусных массах

Table 2 – The content of vitamins and minerals in native plants and callus masses

Показатели	Содержание в 100 г. сырья					
	Листья брусники		Листья подорожника		Листья зверобоя	
	природные	каллус	природные	каллус	природные	каллус
Витамин С, мг	170,0±0,1	205,2±0,1	85,0±0,1	98,2±0,1	150,0±0,1	125,0±0,1
Витамин РР, (НЭ) мг	8,5±0,8	7,2±0,8	6,3±0,6	8,2±0,6	4,2±0,9	5,1±0,6
Каротин, мг	5,2±0,4	7,3±0,4	4,3±0,5	6,1±0,5	2,7±0,9	3,4±0,9
Витамин В ₂ , мг	0,6±0,1	0,9±0,1	0,2±0,2	0,5±0,2	0,3±0,3	0,3±0,3
Витамин В ₉ , мг	0,05±0,01	0,09±0,1	0,02±0,01	0,03±0,1	0,07±0,02	0,04±0,1

ОБСУЖДЕНИЕ

Основная цель микроинкапсулирования – способность защитить заключенные в капсулы действующие вещества от деструктивного воздействия среды желудка, доставить это вещество в нижние отделы желудочно-кишечного тракта, где оно наиболее эффективно всасывается клетками слизистой оболочки, что обеспечит стабильное высвобождение активного вещества.

Полученная комплексная пищевая добавка в виде синбиотика предназначена для включения в рецептуру мучного кондитерского изделия для придания функциональных свойств с целью реализации профилактических мероприятий по снижению заболеваний дисбактериозом ЖКТ.

Проведенные экспериментальные исследования показали слабую термоллабильность пробиотиков, составной части синбиотика, при включении в рецептуру образцов кондитерских изделий в процессе замеса теста, которые погибали до 60–65 % при следующих условиях: температура 120 °С, продолжительность 15 минут.

Продолжаются исследования по увеличению выживаемости пробиотических микроорганизмов, содержащихся в синбиотике, в процессе тепловой обработки для повышения профилактической эффективности функционального продукта. Начинка из ягодного мармелада оказывает наименьшее отрицательное воздействие при заболеваниях желудочно-кишечного тракта в отличие от шоколадной или молочной начинки. При производстве кондитерского изделия начинка не подвергается

термической обработке, поэтому целесообразно вносить синбиотик именно в нее.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённые исследования позволили получить синбиотик для обогащения мучных кондитерских изделий, состоящий из полифенольных соединений арктического фитосырья, полученных из культур клеток, а также пробиотиков, содержащих бактерии *Lactobacillus acidophilus* и *Streptococcus salivarius*. Результаты исследований продемонстрировали эффективность получения каллусных масс по пищевой ценности, биологически активным веществам, показывающим целесообразность круглогодичного производства дефицитных растительных ингредиентов, создания комплексных пищевых соединений с пробиотиками.

Практическая значимость проектирования синбиотиков обусловлена профилактикой заболевания дисбактериоза ЖКТ среди взрослого населения, прежде всего работающего вахтовым методом на арктических территориях. Физиологическая эффективность достигается за счёт формирования синергизма, получаемого за счет увеличения скорости размножения полезных бактерий в 2 раза, обусловленных способностью пробиотиков закрепляться в кишечнике с помощью пребиотиков, повышающих скорости доставки пробиотиков к месту назначения за счет транзита на пребиотиках [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения националь-

ной безопасности на период до 2035 года. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 26 октября 2020 года. Москва : Проспект ; Санкт-Петербург : Кодекс, 2020. 24 с.

2. Попов В.Г. Развитие технологии производства специализированных продуктов питания для населения Арктики / В.Г. Попов, С.А. Белина, О.С. Федорова // Ползуновский вестник. 2017. № 3. С. 14–19.

3. Корочинский А.В. Технологическая разработка иммобилизованных лекарственных форм с биоспорином и их исследования / автореф. дис. ... канд. фарм. наук. Пятигорск, 2014. 4 с.

4. Николаев Ю.А., Пальцев А.И., Кузнецова Т.В. Особенности клинического течения заболеваний органов пищеварения у пришлого населения на севере. Бюллетень СОРАМН, № 3 (121), 2006 г. С. 121–125.

5. Distrutti E., Monaldi L., Ricci P., Fiorucci S. Gut microbiota role in irritable bowel syndrome: New therapeutic strategies // World J Gastroenterol. 2016; 22 (7): 2219–2241.

6. Arslan S., Derak A.N., Erbas M., Tanriverdi E., Gulkan U. (2015). Determination of microbiological and chemical properties of a probiotic dose and its consumer acceptability. J Am Coll Nutr 34(1): 56–64. <https://doi.org/10.1080/07315724.2014.880661>.

7. Asemi Z., Zare Z., Shakeri H., Sabihi S.S., Esmailzadeh A. Effect of multispecies probiotic supplements on metabolic profiles, hs-CRP, and oxidative stress in patients with type 2 diabetes // Ann Nutr Metab. 2013; 63 (1–2): 1–9.

8. Gong J., Bai T., Zhang L., Qian W. [et al.]. Inhibition effect of Bifidobacterium longum, Lactobacillus acidophilus, Streptococcus thermophilus and Enterococcus faecalis and their related products on human colonic smooth muscle in vitro // PLoS One. 2017; 12 (12): e0189257.

9. Zamani B., Golkar H.R., Farshbaf S., Emadi-Baygi M. [et al.]. Clinical and metabolic response to probiotic supplementation in patients with rheumatoid arthritis: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial // Int J Rheum Dis. 2016; 19 (9): 869–79.

10. Giancchetti E., Fierabracci A. Recent advances on microbiota involvement in the pathogenesis of autoimmunity // Int J Mol Sci. 2019; 20 (2): 283.

11. Qin J., Li Y., Cai Z., Li S. A metagenome-wide association study of gut microbiota in type 2 diabetes // Nature. 2012; 490 (7418): 55–60.

12. Bennet S.M.P., Öhman L., Simrén M. Gut microbiota as potential orchestrators of irritable bowel syndrome // Gut Liver. 2015; 9 (3): 318–331.

13. Емельянов А.А., Кузнецова Е.А. Составляющие мякоти тыквы // Пиво и напитки. 2009. № 4. С. 40–43.

14. Vyas P., Curran N.H., Igamberdiev A.U., Debnath S.C. Antioxidant properties of lingonberry (Vaccinium vitis-idaea L.) leaves within a set of wild clones and cultivars // Canadian Journal of Plant Science. 2015. Vol. 95. № 4. Pp. 663669. DOI: 10.1139/CJPS-2014-400.

15. Гапон М.Н. дисс. ... к.б.н. по специальности ВАК РФ 03.00.04, Показатели антиоксидантной защиты организма при экспериментальном дисба-

ктериозе кишечника, обусловленном применением антибиотика широкого спектра действия, 2007, Ростов-на-Дону.

16. Охрименко Л.П., Калинкина Г.И., Лукша Е.А., Коломиец Н.Э. Исследование фенольных соединений листьев голубики, брусники, толокнянки, черники и зимолоубки, произрастающих в Республике Саха (Якутия) // Химия растительного сырья. 2009. № 3. С. 109–115.

17. Лубсандоржиева Н.Б. Антиоксидантная активность экстрактов из *Bergenia Crassifolia* (L.) Fritsch и *Vaccinium vitis-idaea* L. in vitro // Химия растительного сырья. 2006. № 4. С. 45–48.

18. Артёмкина Н.А. Фенольные соединения *Vaccinium vitis-idaea* и их ответ на воздействие различных факторов окружающей среды // Химия растительного сырья. 2019. № 2. С. 59–66.

19. Олейников Д.Н., Samuelsen A.B., Танхаева Л.М. Подорожник большой (*Plantago Major* L.). Химический состав и применение // Химия растительного сырья. 2007. № 2. С. 37–50.

20. Постраш И.Ю. Трава зверобоя продырявленного: химический состав, свойства, применение. Вестник АПК Верхневолжья. № 1 (53). 2021. С. 57–63.

21. Патент 2720916 (RU) Способ стерилизации зелёных растительных эксплантов перед вводом в культуру in vitro / М.С. Трофимова, А.Н. Ребров ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр».

22. Попов В.Г., Аксентьева В.В. Получение полифенольных соединений из фитосырья методом микроразмножения клеток in vitro // Индустрия питания / Food Industry. 2022. Т. 7, № 4. С. 102–108.

23. Попов В.Г. Теоретико-методологические подходы к разработке и практическому применению функциональных напитков для школьного питания : дисс. ... докт. тех. наук / В.Г. Попов. Кемерово, 2014. 421 с.

Информация об авторах

В. Г. Попов – доктор технических наук, заведующий кафедрой товароведения и технологии продуктов питания. Тюменский индустриальный университет.

В. В. Аксентьева – ассистент кафедры товароведения и технологии продуктов питания. Тюменский индустриальный университет.

REFERENCES

1. Strategy for the development of the Arctic zone of the Russian Federation and ensuring national security for the period up to 2035 (2020). Moscow, Standards Publishing House (In Russ.)

2. Popov, V.G. (2017). Development of technology for the production of specialized food products for the population of the Arctic. Polzunovskiy vestnik, (3), 14-19. (In Russ.).

3. Korochinsky, A.V. (2014). Technological development of immobilized dosage forms with biosporin and their research. Abstract of the thesis. dis. cand. farm. Sciences. 14 p. (In Russ.).

4. Nikolaev, Yu.A., Paltsev, A.I., Kuznetsova, T.V. (2006). Features of the clinical course of diseases of the

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ПИЩЕВЫХ ДОБАВОК В ВИДЕ МИКРОКАПСУЛИРОВАННЫХ СИНБИОТИКОВ

digestive system in the alien population in the north. Bulletin of the SO RAMN, (3), 121-125. (In Russ.).

5. Distrutti, E., Monaldi, L., Ricci, P., Fiorucci, S. (2016). Gut microbiota role in irritable bowel syndrome: New therapeutic strategies. World J Gastroenterol. 22 (7), 2219-2241.

6. Arslan, S., Derak, A.N., Erbas, M., Tanriverdi, E., Gulkan, U. (2015). Determination of microbiological and chemical properties of a probiotic dose and its consumer acceptability. J Am Coll Nutr 34(1): 56-64. <https://doi.org/10.1080/07315724.2014.880661>.

7. Asemi, Z., Zare, Z., Shakeri, H., Sabihi, S.S., Esmailzadeh, A. Effect of multispecies probiotic supplements on metabolic profiles, hs-CRP, and oxidative stress in patients with type 2 diabetes. Ann Nutr Metab. 2013; 63 (1-2): 1-9.

8. Gong, J., Bai, T., Zhang, L., Qian, W. [et al.]. Inhibition effect of Bifidobacterium longum, Lactobacillus acidophilus, Streptococcus thermophilus and Enterococcus faecalis and their related products on human colonic smooth muscle in vitro // PLoS One. 2017; 12 (12): e0189257.

9. Zamani, B., Golkar, H.R., Farshbaf, S., Emadi-Baygi, M. (2016). Clinical and metabolic response to probiotic supplementation in patients with rheumatoid arthritis: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. Int J Rheum Dis. (9). 869-79.

10. Giancchetti, E., Fierabracci, A. (2019). Recent advances on microbiota involvement in the pathogenesis of autoimmunity. Int J Mol Sci. 20 (2): 283.

11. Qin, J., Li, Y., Cai, Z., Li, S. A metagenome-wide association study of gut microbiota in type 2 diabetes // Nature. 2012; 490 (7418): 55-60.

12. Bennet, S.M.P., Ohman, L., Simrén, M. Gut microbiota as potential orchestrators of irritable bowel syndrome // Gut Liver. 2015; 9 (3): 318-331.

13. Emelyanov, A.A., Kuznetsova, E.A. (2009). Components of pumpkin pulp. Beer and drinks. (4). 40-43. (In Russ.).

14. Vyas, P., Curran, N.H., Igamberdiev, A.U., Debnath, S.C. Antioxidant properties of lingonberry (Vaccinium vitis-idaea L.) leaves within a set of wild clones and cultivars // Canadian Journal of Plant Science. 2015. Vol. 95. No. 4. Pp. 663-669. DOI: 10.1139/CJPS-2014-400.

15. Gapon, M.N. (2007). dissertation Ph.D. in the specialty VAK RF 03.00.04, Indicators of antioxidant defense of the organism in experimental intestinal

dysbacteriosis caused by the use of a broad-spectrum antibiotic, Rostov-on-Don. (In Russ.).

16. Okhrimenko, L.P., Kalinkina, G.I., Luksha, E.A., Kolomiets, N.E. (2009). The study of phenolic compounds in the leaves of blueberries, lingonberries, bearberry, blueberries and winter-loving, growing in the Republic of Sakha (Yakutia). Chemistry of vegetable raw materials. (3). 109-115. (In Russ.).

17. Lubsandorzheeva, N.B. (2006). Antioxidant activity of extracts from Berberis Crassifolia (L.) Fritsch and Vaccinium vitis-idaea L. in vitro. Chemistry of Plant Materials. (4). 45-48. (In Russ.).

18. Artyomkina, N.A. (2019). Phenolic compounds of Vaccinium vitis-idaea and their response to the impact of various environmental factors. Chemistry of vegetable raw materials. (2). 59-66. (In Russ.).

19. Oleinikov, D.N., Samuelson, A.B., Tankhaeva, L.M. (2007). Plantain large (Plantago Major L.). Chemical composition and application. Chemistry of vegetable raw materials. (2). 37-50. (In Russ.).

20. Postrash, I.Yu. (2021). wort herb: chemical composition, properties, application Bulletin of the Upper Volga Agroindustrial Complex. (1) (53). 57-63. (In Russ.).

21. Trofimova, M.S., Rebrov, A.N. (2017). Method for sterilization of green plant explants before introduction into culture in vitro Pat. 2350477. Russian Federation, published on 27.12.2017. Bull. No. 36. (In Russ.).

22. Popov, V.G., Aksent'eva, V.V. (2022). Obtaining polyphenolic compounds from phyto-raw materials by in vitro cell micropropagation. Nutrition Industry. Food Industry. (4). 102-108. (In Russ.).

23. Popov, V.G. (2014). Theoretical and methodological approaches to the development and practical application of functional drinks for school meals dis. doc. those. Sciences. Kemerovo (In Russ.).

Information about the authors

V. G. Popov - Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Commodity Science and Food Technology. Tyumen Industrial University.

V. V. Aksent'eva - Assistant of the Department of Commodity Science and Food Technology. Tyumen Industrial University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 17 мая 2023; одобрена после рецензирования 18 сентября 2023; принята к публикации 20 ноября 2023.

The article was received by the editorial board on 17 May 2023; approved after editing on 18 Sep 2023; accepted for publication on 20 Nov 2023.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.696.9

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.008



ОБОСНОВАНИЕ СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИГОТОВЛЕНИЯ МЮСЛИ-БАТОНЧИКОВ ПОВЫШЕННОЙ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ

Ирина Юрьевна Резниченко, Татьяна Александровна Мирошина

Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия, Кемерово, Россия
irina.reznichenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7486-4704>
e-mail: intermir42@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-5152-0868>

Аннотация. Здоровое питание сегодня рассматривается как обязательный критерий, обеспечивающий профилактику и защиту организма человека от неинфекционных заболеваний и нарушений здоровья. Цель работы заключалась в обосновании состава и технологических параметров приготовления мюсли-батончиков с добавленной пищевой ценностью. При выборе сырья для мюсли-батончиков основывались на пищевой, в том числе биологической ценности сырья и его вкусовой совместимости, отсутствие подобного рецептурного состава в существующем ассортименте мюсли на потребительском рынке. В результате экспериментальных исследований обоснован рецептурный состав мюсли-батончика. Связующим компонентом является мед, что определило отличительную особенность продукта. Новыми ингредиентами, ранее не применяемыми в составе мюсли-батончиков, выбраны сныть и семена конопли. С учетом свойств сырьевых компонентов подобраны технологические параметры приготовления батончика мюсли, оценены органолептические и физико-химические характеристики. Определена пищевая ценность разработанных изделий и их функциональная направленность. Содержание пищевых волокон составляет более 6 г на 100 г продукта, содержание железа свыше 30 % средней суточной нормы потребления, вследствие чего новые изделия можно позиционировать как продукты питания с высоким содержанием пищевых волокон и железа. Содержание магния и фосфора составляет более 15 % от средней суточной потребности в данных минеральных веществах, что характеризует изделия и как источник данных минеральных элементов.

Ключевые слова: завтраки сухие, мюсли-батончики, рецептура, технические параметры, оценка показателей качества, регламентированные показатели.

Для цитирования: Резниченко И. Ю., Мирошина Т. А. Обоснование состава и технологических параметров приготовления мюсли-батончиков повышенной пищевой ценности // Ползуновский вестник. 2023. № 4, С. 62–69. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.008. EDN: <https://elibrary.ru/GTPSIH>.

Original article

SUBSTANTIATION OF THE COMPOSITION AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF PREPARING MUESLI BAR OF INCREASED NUTRITIONAL VALUE

Irina Yu. Reznichenko, Tatyana A. Miroshina

Kuzbass State Agricultural Academy, Kemerovo, Russia
irina.reznichenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7486-4704>
e-mail: intermir42@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-5152-0868>

© Резниченко И. Ю., Мирошина Т. А., 2023

ОБОСНОВАНИЕ СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИГОТОВЛЕНИЯ МЮСЛИ-БАТОНЧИКОВ ПОВЫШЕННОЙ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ

Abstract. Healthy nutrition is now considered as a mandatory criterion that ensures the prevention and protection of the human body from non-communicable diseases and health disorders. The purpose of the work was to substantiate the composition and technological parameters of the preparation of muesli bars with added nutritional value. When choosing raw materials for the muesli bar, they were based on the nutritional value, including the biological value of the raw materials, the taste compatibility of the ingredients, and the absence of such a recipe in the existing assortment of muesli on the consumer market. The characteristic of the nutritional value of prescription ingredients is given, their biological potential is shown. As a result of experimental studies, the recipe composition of the muesli bar was substantiated. The binding component is honey, which determines the distinctive feature of the product; gout and hemp seeds were chosen as new ingredients that were not previously used in muesli bars. Taking into account the properties of the raw materials, the technological parameters for the preparation of the muesli bar were selected, and the organoleptic and physico-chemical characteristics were evaluated. The nutritional value of the developed product and its functional orientation are determined. In the developed product, the content of dietary fiber is more than 6 g per 100 g of the product, the iron content is more than 30 % of the average daily intake, as a result, the product can be positioned as a product with a high content of dietary fiber and iron. The content of magnesium and phosphorus is more than 15 % of the average daily requirement for these minerals, which characterizes the product as a source of these mineral elements.

Keywords: dry breakfasts, muesli bars, recipe, technical parameters, evaluation of quality indicators, regulated indicators.

For citation: Reznichenko, I. Yu. & Miroshina, T. A. (2023). Substantiation of the composition and technological parameters of preparing muesli bar of increased nutritional value. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 62-69. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.008. EDN: <https://elibrary.ru/GTPSIH>.

ВВЕДЕНИЕ

Под завтраками сухими понимают готовые к употреблению в пищу хлопья, полученные при обжарке предварительно обработанных зерен или круп кукурузы, пшеницы, овса и других зерновых культур, а также вкусовых добавок [1]. В зависимости от применяемого сырья ассортимент сухих завтраков включает хлопья, глазированные сахарной или шоколадной глазурью, соленые, с разнообразными вкусовыми добавками. Однако в настоящее время ассортимент сухих завтраков значительно расширился и представлен не только хлопьями, но и другими пищевыми концентратами, такими, например, как мюсли.

Нормативного документа на термины и определения современных завтраков сухих не существует, отсутствует также документ, регламентирующий требования к мюсли и разновидностям мюсли – мюсли-батончикам. Однако ГОСТ 26791-2018 «Продукты переработки зерна. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение» распространяется не только на муку, толокно, крупы, но и на мюсли и продукты, полученные путем экструзии или термообработки зерна, или крупы, то есть термин «мюсли» в данном стандарте встречается и употребляется в практике.

Авторская трактовка термина «мюсли-батончик», а также классификация мюсли по различным признакам предложена в работе [2]. Батончик мюсли – это общий термин,

который относится к выпеченным или приготовленным холодным формованием батончиков на основе злаков и других ингредиентов, таких как орехи, семена, сушеные фрукты, связующие компоненты. Подбор ингредиентов позволяет изменить пищевую ценность батончиков мюсли, придать функциональную направленность, создать продукт здорового питания [3, 4].

Маркетинговые исследования потребительских предпочтений в отношении мюсли батончиков среди школьников старших классов показали, что разработка новых линеек мюсли-батончиков с добавленной пищевой ценностью является актуальным направлением исследований [5, 6].

Сегодня слова «здоровое питание» стали обязательными критериями для многих потребителей при покупке продуктов. В нашей стране, во многих западных и азиатских странах потребление батончиков мюсли популярно и постоянно растет [7, 8]. Эта тенденция связана с увеличением темпа жизни людей, недостатком времени для приготовления традиционных блюд, лучшей информированностью и осведомленностью потребителей о влиянии пищи на здоровье [9]. Для удовлетворения требований потребителей производители выводят на рынок новые, инновационные продукты, такие как продукты на основе злаков с добавлением фруктов или овощей. Отмечено, что замена традиционных высококалорийных снеков сухими завтрака-

ми с высоким содержанием биоингредиентов может благотворно сказаться на здоровье, предотвратить многие заболевания, связанные с питанием (диабет, атеросклероз, высокое кровяное давление) [10]. С одной стороны, потребители стремятся питаться более здоровой пищей и употреблять продукты с высоким содержанием питательных компонентов, с другой стороны, они ищут продукты, которые являются источником быстрой энергии, придают силы, насыщают и просты в употреблении. Батончики мюсли отвечают данным требованиям [11].

Возможность разнообразия состава батончиков за счет включения орехов и сухофруктов позволяет легко адаптировать их к рациональному питанию в качестве источника медленно усвояемых углеводов, микро- и макроэлементов [3, 11, 12].

Функциональные батончики мюсли включают, например, закусочные батончики, энергетические батончики, протеиновые батончики, фруктовые батончики, зерновые батончики, батончики из гранолы, ореховые батончики, батончики для спортсменов [12, 13]. Предложен состав батончиков с включением фиников и финиковой пасты в качестве замены глюкозного сиропа (связующего компонента) [12]. Разработан состав батончика мюсли из комбинаций зерен амаранта, овса и порошка банановой кожуры. Показано, что добавление порошка овса и банановой кожуры увеличило содержание белка, минералов, пищевых волокон, фенолов, незаменимых аминокислот [13]. Таким образом, расширение ассортимента батончиков мюсли как продуктов здорового питания является актуальным направлением исследований.

В связи с вышеизложенным, цель работы заключалась в обосновании состава и технологических параметров приготовления мюсли-батончиков с добавленной пищевой ценностью.

МЕТОДЫ

Объектами исследования являлись модельные образцы мюсли-батончиков, приготовленные в лабораторных условиях кафедры биотехнологий и производства продуктов питания Кузбасской государственной сельскохозяйственной академии. Для приготовления образцов применяли следующее сырье: мед (ГОСТ 19792-2017), овсяные хлопья (ГОСТ 21149-93), семена конопли (ГОСТ 9158-76), семена тыквы, очищенные (ТУ 9760-004-76440635-2016), финики сушеные без косточек (СТО 0202067076-003-2021), сушеные яблоки (ГОСТ 32896-2014), грецкий орех очищенный (ГОСТ 16833-2014); кедровый орех очищенный (ГОСТ 31852-2012); чер-

нослив без косточки (ГОСТ 32896-2014); сныть (ТУ 9700-004-0088418944-2012).

В качестве методов исследования применяли стандартные методы анализа. Содержание сухих веществ определяли по ГОСТ 15113.4-77, содержание золы и металломагнитных примесей – по ГОСТ 15113.8-77. Зараженность вредителями определяли визуально при дневном рассеянном свете. Определение органолептических показателей качества проводили по показателям внешний вид, вкус и запах, консистенция, форма и состояние поверхности. В качестве нормируемых показателей определяли показатели, прописанные в ТУ 9196-029-02068313-03 [2].

При установлении сроков хранения разрабатываемого изделия определяли показатели качества через каждые три дня в течение месяца. При этом изделия хранили упакованными в полиэтиленовую пленку при температуре не выше 18 °С и относительной влажности воздуха не более 75 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При выборе сырья для мюсли-батончика основывались на пищевой, в том числе биологической ценности сырьевых компонентов, вкусовой совместимости ингредиентов, отсутствии подобного рецептурного состава в существующем ассортименте мюсли на потребительском рынке.

Мед обладает естественными антибактериальными, противовирусными иммуномодулирующими свойствами, содержит флавоноиды [14].

Овсяные хлопья включают бета-глюкан, полисахарид, который имеет клинически доказанную эффективность. Бета-глюкан вызывает снижение уровня холестерина, улучшает здоровье сердца, также он полезен для укрепления иммунитета [15–17].

Сныть обыкновенная рассматривается как перспективное сырье с высоким биопотенциалом для разработки пищевых продуктов. Сныть содержит значительное количество флавоноидов (17,0 мг/г), аскорбиновой кислоты, макро- и микроэлементов [18, 19].

Семена конопли являются ценным растительным сырьем с точки зрения пищевой ценности [20].

Характеристика пищевой ценности (усредненные данные) применяемых в рецептуре ингредиентов приведена в таблице 1.

При определении состава образцов мюсли изучали влияние различных дозировок сырьевых ингредиентов на качество продукта. При этом апробировали возможность приготовления мюсли-батончиков:

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 4 2023

ОБОСНОВАНИЕ СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИГОТОВЛЕНИЯ МЮСЛИ-БАТОНЧИКОВ ПОВЫШЕННОЙ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ

- из цельных овсяных хлопьев с добавлением целых семян конопли, грецкого ореха, сныти;
- из цельных овсяных хлопьев с добавлением измельченных на лабораторной мельнице семян конопли, грецкого ореха, сныти.

Во все образцы добавляли кусочки предварительно нарезанных сушеных яблок, семена тыквы, целые финики.

Процесс приготовления образцов состоял из следующих операций: подготовка ингредиентов, перемешивание ингредиентов, добавление меда, перемешивание, раскатка в пласт, нарезка на отдельные изделия. Подготовка ингредиентов заключалась в визуальном осмотре на наличие дефектов и по-

сторонних примесей. Чернослив без косточки предварительно промывали и подсушивали до первоначальной влажности 18–19 %. Мед подогревали до жидкого состояния при температуре 40–45 °С.

В результате экспериментальных исследований установлена целесообразность приготовления мюсли-батончика из цельных овсяных хлопьев и измельченных семян конопли, грецкого ореха и сныти, определена оптимальная дозировка меда.

Составы образцов приведены в таблице 2. Внешний вид образцов представлен на рисунке 1.

Таблица 1 – Характеристика пищевой ценности сырьевых ингредиентов

Table 1 – Characteristics nutritional value of raw ingredients

Наименование пищевого вещества	Содержание, г/100г						
	Овсяные хлопья	Мед	Семена конопли	Семена тыквы	Финики сушеные	Кедровый орех	Сныть сушеная
Белки	13,0	0,8	31,56	30,23	2,5	18,6	18,81
углеводы	62,1	80,3	8,67	4,71	69,2	4,0	16,64
Пищевые волокна	14,8		4,0	6,0	6,0	5,0	20,52
жиры	6,2		0,1	49,04	0,5	68,6	-
Минеральный состав							
K	362	36,0	70,0	809,9	370,0	780,0	37,12
Ca	64	14,0	1200,0	46,0	65,0	11,0	60,3
Mg	116	3,0	700,0	592,0	69,0	270,0	4,2
P	349	18,0	1650,0	1233,0	56,0	650,0	3,3
Fe	3,9	0,8	8,0	8,82	1,5	5,6	3,0
Витаминный состав							
B ₁	0,49	0,01	1,3	0,273	0,05	0,73	0,007
B ₂	0,11	0,03	0,3	0,153	0,05	0,19	0,24
B ₅	–	0,13		0,74	0,8	0,31	–
E	–		0,8	2,18	0,3	13,65	–
PP	1,1	0,2	9,2	4,98	1,9	3,8	–
C		2,0	0,5	1,9	0,3	0,8	26,1

Таблица 2 – Соотношение сырьевых компонентов для приготовления мюсли батончиков

Table 2 – The ratio of raw materials for the preparation of muesli bars

Наименование сырья	Расход сырья, г		
	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
Овсяные хлопья	23,0	20,0	20,0
Финики	15,0	20,0	20,0
Грецкий орех	10,0	15,0	–
Семена конопли	12,0	10,0	15,0
Семена тыквы	5,0	5,0	7,0
Чернослив	6,0	5,0	–
Сухие яблоки	7,0	5,0	8,0
Кедровый орех	–	–	9,0
Сныть	2,0	1,0	1,0
Мёд	20,0	20,0	20
Итого	100	100	100

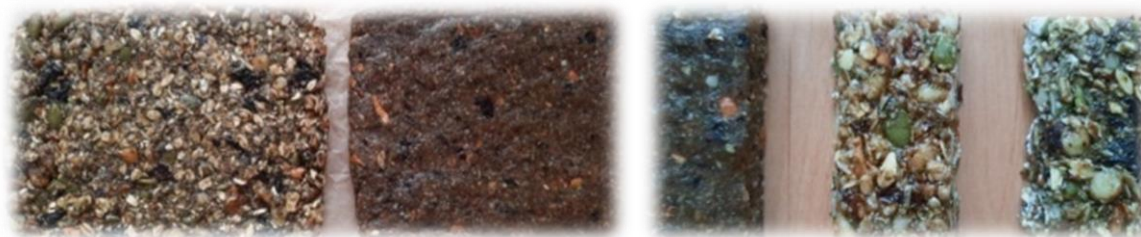


Рисунок 1 – Внешний вид образцов мюсли

Fig. 1 – Appearance of muesli samples

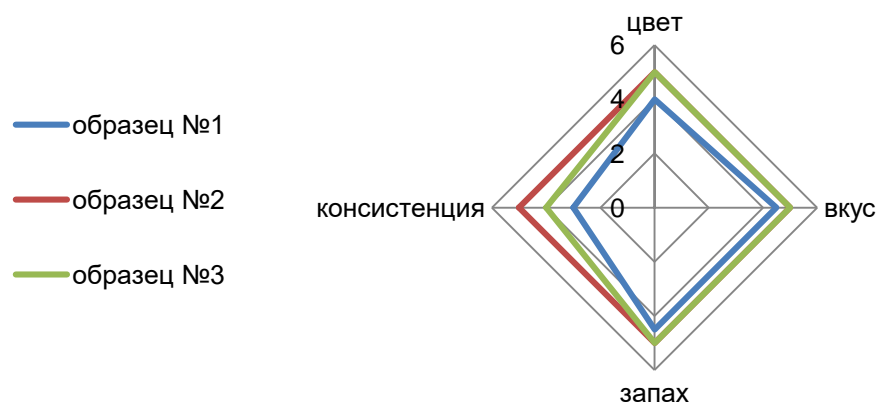


Рисунок 2 – Профилограмма органолептических характеристик образцов мюсли

Fig. 2 – Profiloграм of organoleptic characteristics of muesli samples

У образцов определяли органолептические показатели качества: цвет, вкус и запах, консистенцию. Для более полной характеристики органолептических показателей качества провели дегустационную оценку по балловой шкале, согласно которой каждый показатель оценивали максимально в 5 баллов. Визуализация дегустационной оценки представлена на профилограмме (рисунок 2).

Анализ органолептических показателей установил, что все образцы характеризовались шероховатой поверхностью, с включением цельных кедровых орехов и семян тыквы, однородным зеленовато-коричневым цветом.

У всех образцов вкус и запах были достаточно приятными, выраженными, со слабо сладким медовым послевкусием. При оценке органолептических характеристик особое внимание обращали на консистенцию продукта, так как технология предполагает формование изделий прокаткой с дальнейшей резкой. Установили, что консистенция образцов № 1, № 3 была полутвердая, слегка липкая, не достаточно плотная, что затрудняло формование продукта. У образца № 2 консистенция продукта была плотная, полутвердая, не липкая.

Оценка физико-химических показателей образцов, проведенная по разработанным и

утвержденным ТУ [2] выявила соответствие по массовой доле влаги во всех образцах, отсутствие металломагнитных примесей и зараженности вредителями хлебных запасов. Массовая доля влаги при норме не более 10,0 % фактически составила 9,5; 9,5 и 9,3 % в образцах № 1, № 2, № 3 соответственно при погрешности $\pm 0,2$ %.

Предложена технология приготовления мюсли-батончика, отличительной особенностью которой является применение в качестве связующего компонента меда.

Для получения изделия на первом этапе измельчают семена конопли и грецкий орех до размера частиц не более 7000 мкм, яблоки сушеные режут на частицы размером 0,3 см, сныть измельчают до порошкообразного состояния. Полученное сырье смешивают и в сухую смесь добавляют овсяные хлопья, семена тыквы, кедровые орехи, финики, чернослив и предварительно подогретый до 45 °С мед. После чего осуществляют формование полученной массы в пласт толщиной 1,0–1,5 см, охлаждение пласта до температуры 18+3 °С, нарезание пласта на батончики массой 40 г.

Пищевая ценность разработанного изделия и функциональная направленность приведена в таблице 3. Процент удовлетво-

ОБОСНОВАНИЕ СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИГОТОВЛЕНИЯ МЮСЛИ-БАТОНЧИКОВ ПОВЫШЕННОЙ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ

рения средней функциональной потребности в определенном пищевом веществе определяли согласно Методических рекомендаций МР 2.3.1.0253-21 [21]. Функциональную направленность устанавливали согласно требованиям ТР ТС 021/2011 [22].

Суточная норма потребления пищевых волокон составляет в среднем 25 г. Пищевые волокна способствуют повышению иммунитета, нормализуют функцию кишечника, стабилизируют содержание сахара в крови, снижа-

ют уровень холестерина. При употреблении одного изделия в 40 г удовлетворение физиологической потребности в пищевых волокнах составит 9 %.

Содержание железа в одном изделии составляет более 13 % от средней суточной нормы потребления. Дефицит железа в организме приводит к железодефицитной анемии, что отражается на снижении иммунитета, сердечной недостаточности, быстрой утомляемости.

Таблица 3 – Пищевая ценность и функциональная направленность мюсли-батончика

Table 3 – Nutritional value and functional orientation of the muesli bar

Наименование пищевого вещества	Содержание в мюсли-батончике на 100г / на одно изделие 40 г	% от удовлетворения ФНП	Функциональная направленность
Белки	34,0/13,5	27,2/6,8	
Жиры	17,5/7,0	22/5,4	
Углеводы	48,0/19,0	16,0/4,0	
Пищевые волокна	7,2 /2,8	35,0 /9,0	Высокое содержание
Минеральные вещества			
Калий	253,0/101,2	7,2/1,8	
Кальций	63,5/25,4	6,3/1,6	
Железо	5,5/2,2	55,0/13,7	Высокое содержание
Магний	73,5/29,4	17,5/4,4	Источник
Фосфор	164,0/65,5	23,4/5,8	
Энергетическая ценность, ккал	499,5/200	20,0/5,0	

Магний принимает участие в энергетическом обмене, регулировании артериального давления и клеточного роста, синтезе белков. Фосфор необходим не только для формирования костей, он участвует во многих обменных процессах организма, способствует усвоению питательных веществ. Включение в рецептуру кедровых и грецких орехов, сушеных яблок, чернослива, фиников позволило обогатить продукт магнием и фосфором. Содержание макроэлементов магния и фосфора в одном изделии мюсли-батончике составляет около 5 % от средней суточной потребности в них. Таким образом, разработанный продукт характеризуется повышенной пищевой ценностью.

ВЫВОДЫ

В результате экспериментальных исследований разработан рецептурный состав мюсли-батончика, который можно отнести к продуктам здорового питания. Отличительной особенностью нового состава является применение меда в качестве связующего компонента, а также использование в рецептуре семян конопли и порошка сныти. Предложены технологические параметры приготовления

батончика мюсли, оценены качественные характеристики. Рассчитана пищевая ценность разработанного изделия, определена его функциональная направленность. Содержание пищевых волокон в разработанных изделиях составляет более 6 г на 100 г продукта, содержание железа составляет более 30 % средней суточной нормы потребления, в связи с чем изделие можно позиционировать как изделие с высоким содержанием пищевых волокон и железа. Содержание магния и фосфора составляет более 15 % от средней суточной потребности в данных минеральных веществах, следовательно, продукт является источником этих минеральных элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 50365-92 Завтраки сухие. Хлопья кукурузные и пшеничные. М. : Стандартиформ. 1992. 6 с.
- Резниченко И.Ю. Теоретические и практические аспекты разработки, оценки качества кондитерских изделий и пищевых концентратов функционального назначения: дис. ... докт. техн. наук : 05.18.15. Кемерово, 2008. 383 с.
- Резниченко И.Ю., Позняковский В.М., Драгунова И.А. Выбор сырья для мюсли-батончика //

Пищевая промышленность. 2007. № 2. С. 68–69. EDN NQLXNJ.

4. Резниченко И.Ю., Позняковский В.М. Новый вид пищевых концентратов: мюсли-батончик // Пищевая промышленность. 2004. № 10. С. 46–47. EDN YRBXVJ.

5. Алексеева Т.В., Попов Е.С., Албычева Л.А. Исследование потребительских предпочтений при производстве снековых батончиков для школьного питания // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2021. № 6 (71). С. 101–108.

6. Артемова Е.Н., Симакова И.В., Алексеева Т.В. Оценка качества батончиков мюсли функциональной направленности для школьного питания // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2021. № 1 (66). С. 95–99.

7. Rodrigues Arruda Pinto, Vinicius Freitas, Tamar Melo, Laura Freitas, Letícia Araújo, Lucas Minim, Valéria Souza, Thiago Bressan, Josefina. (2019). What Grabs Our Attention Most to Consume A Snack Bar In Brazil? Following Trends In Choice of Snack Bars To Boost Market For Healthier Options. The Open Food Science Journal. DOI: 10.2174/1874256401810010062.

8. Szydłowska Aleksandra, Zielińska Dorota, Trzaskowska Monika, Neffe-Skocińska Katarzyna, Łepecka Anna, Okoń Anna, Kołożyn-Krajewska, Danuta. (2022). Development of Ready-to-Eat Organic Protein Snack Bars: Assessment of Selected Changes of Physicochemical Quality Parameters and Antioxidant Activity Changes during Storage. Foods. 11. 3631. DOI: 10.3390/foods11223631.

9. Kowalska Hanna, Kowalska Jolanta, Ignaczak Anna, Masiarz Ewelina, Domian Ewa, Galus (Kokoszka) (2021). Development of a High-Fibre Multigrain Bar Technology with the Addition of Curly Kale. Molecules. 26. 3939. DOI: 10.3390/molecules26133939.

10. Predanócyová, Kristína. (2022). Consumer Attitudes and Consumption Patterns Toward Functional Food Bars in Slovakia. DOI: 10.15414/2022.9788055225579.108-116.

11. Ibrahim Salam, Fidan Hafize, Aljaloud Sulaiman, Stankov Stanko, Ivanov Galin. (2021). Application of Date (Phoenix dactylifera L.) Fruit in the Composition of a Novel Snack Bar. Foods. DOI: 10.918. 10.3390/foods10050918.

12. Constantin Oana, Istrat Daniela. (2018). Functional Properties of Snack Bars. DOI: 10.5772/intechopen.81020.

13. Singh Arshya, Kumari Aparna, Chauhan Anil. (2022). Formulation and evaluation of novel functional snack bar with amaranth, rolled oat, and unripened banana peel powder. Journal of Food Science and Technology Mysore. DOI: 59.10.1007/s13197-021-05344-6.

14. Мирошина Т.А., Резниченко И.Ю., Мирошин Е.В. Иммуномоделирующие свойства меда. Обзор исследований биопотенциала // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2023. № 1(78). С. 62–67. DOI: 10.33979/2219-8466-2023-78-6-62-67.

15. Рябцев П.С., Заикин В.А. Влияние бета-глюкана на неспецифическую резистентность бройлеров при их экспериментальном заражении полевым изолятом кокцидий // Птица и птицепро-

дукты. 2022. № 5. С. 32–34. DOI: 10.30975/2073-4999-2022-24-5-32-34.

16. Хайтметова С.Б., Тураев А.С., Халилова Г.А., Тагайалиева Н.А., Аббосхонова М.О. Изучение активности полисахаридов, выделенных из базидиальных грибов GANODERMALUCIDUM, на модели токсического гепатита // Экспериментальная и клиническая фармакология. 2022. Т. 85. № 12. С. 38–41. DOI: 10.30906/0869-2092-2022-85-12-38-41.

17. Щербакова Н.А., Мистенева С.Ю., Руденко О.С., Кондратьев Н.Б., Баскаков А.В. Изучение влияния продуктов переработки овса на изменение качественных характеристик мучных кондитерских изделий // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 4. С. 832–848. DOI: 10.21603/2074-9414-2021-4-832-848.

18. Jakubczyk K., Kwiatkowski, M. Sienkiewicz, Janda K. The content of polyphenols in extract from goutweed (Aegopodium podagraria L.) and their antistaphylococcal activity / K. Jakubczyk, P. // Post. Fitoter. 2018. № 1. С. 3–9.

19. Wróblewska A., Janda-Milczarek E., Kucharska M., Walasek P. Effect of extraction method on the antioxidative activity of ground elder (Aegopodium podagraria L.) // Polish Journal of Chemical Technology. 2019. № 21. P. 13–181.

20. Ермош Л.Г., Присухина Н.В., Непомнящих Е.Н. Оценка пищевой ценности муки конопляной относительно традиционных видов безглютеновой муки // Вестник КрасГАУ. 2022. № 8 (185). С. 194–201. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-8-194-201.

21. Методические рекомендации МР 2.3.0253-2021 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения». Москва. 2021. 72 с.

22. ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки». ФГУП «Стандартинформ». Москва. 2014. 23 с.

Информация об авторах

И. Ю. Резниченко – доктор технических наук, профессор кафедры «Биотехнологий и производства продуктов питания» ФГБОУ ВО «Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия».

Т. А. Мирошина – канд. пед. наук, доцент кафедры педагогических технологий ФГБОУ ВО «Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия».

REFERENCES

1. GOST 50365-92 (1992). Dry breakfasts. Corn and wheat flakes. M. : Standartinform.
2. Reznichenko, I.Yu. (2008). Theoretical and practical aspects of the development, quality assessment of confectionery products and functional food concentrates: dis. ... Ph.D. Sciences: 05.18.15. Kemerovo. (In Russ.).
3. Reznichenko, I.Yu., Poznyakovsky, V.M., Dragunova, I.A. (2007). The choice of raw materials

ОБОСНОВАНИЕ СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИГОТОВЛЕНИЯ МЮСЛИ-БАТОНЧИКОВ ПОВЫШЕННОЙ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ

- for the muesli bar // Food industry. 2. 68-69. EDN NQLXHJ. (In Russ.).
4. Reznichenko, I.Yu., Poznyakovskiy, V.M. (2004). A new type of food concentrates: muesli bar. Food industry. 10. 46-47. EDN YRBXVJ (In Russ.).
5. Alekseeva, T.V., Popov, E.S., Albycheva, L.A. (2021). Study of consumer preferences in the production of snack bars for school meals. Technology and commodity science of innovative food products. 6 (71). 101-108. (In Russ.).
6. Artemova, E.N., Simakova, I.V., Alekseeva, T.V. (2021). Assessment of the quality of functional muesli bars for school meals // Technology and commodity science of innovative food products. 1 (66). 95-99. (In Russ.).
7. Rodrigues Arruda Pinto, Vinícius Freitas, Tamara Melo, Laura Freitas, Letícia Araújo, Lucas Minim, Valéria Souza, Thiago Bressan, Josefina. (2019). What Grabs Our Attention Most to Consume A Snack Bar In Brazil? Following Trends In Choice of Snack Bars To Boost Market For Healthier Options. The Open Food Science Journal. DOI: 10.2174/1874256401810010062.
8. Szydłowska Aleksandra, Zielińska Dorota, Trzaskowska Monika, Neffe-Skocińska Katarzyna, Łepecka Anna, Okoń Anna, Kołożyn-Krajewska, Danuta. (2022). Development of Ready-to-Eat Organic Protein Snack Bars: Assessment of Selected Changes of Physicochemical Quality Parameters and Antioxidant Activity Changes during Storage. Foods. 11. 3631. DOI: 10.3390/foods11223631.
9. Kowalska Hanna, Kowalska Jolanta, Ignaczak Anna, Masiarz Ewelina, Domian Ewa, Galus (Kokoszka). (2021). Development of a High-Fibre Multigrain Bar Technology with the Addition of Curly Kale. Molecules. 26.3939. DOI: 10.3390/molecules26133939.
10. Predanociová, Kristina. (2022). Consumer Attitudes and Consumption Patterns Toward Functional Food Bars in Slovakia. DOI: 10.15414/2022.9788055225579.108-116.
11. Ibrahim Salam, Fidan Hafize, Aljaloud Sulaiman, Stankov Stanko, Ivanov Galin. (2021). Application of Date (Phoenix dactylifera L.). Fruit in the Composition of a Novel Snack Bar. Foods. DOI: 10.918.10.3390/foods10050918.
12. Constantin Oana, Istrat Daniela. (2018). Functional Properties of Snack Bars. DOI: 10.5772/intechopen.81020.
13. Singh Arshya, Kumari Aparna, Chauhan Anil. (2022). Formulation and evaluation of novel functional snack bar with amaranth, rolled oat, and unripened banana peel powder. Journal of Food Science and Technology Mysore. DOI: 59.10.1007/s13197-021-05344-6.
14. Miroshina, T.A., Reznichenko, I.Yu., Miroshin, E.V. (2023). Immunomodulating properties of honey. Review of biopotential research // Technology and commodity science of innovative food products. 1 (78). 62-67. DOI: 10.33979/2219-8466-2023-78-6-62-67. (In Russ.).
15. Ryabtsev, P.S., Zaikin, V.A. (2022). The effect of beta-glucan on the nonspecific resistance of broilers during their experimental infection with a field isolate of coccidia // Poultry and poultry products. 5. 32-34. DOI: 10.30975/2073-4999-2022-24-5-32-34. (In Russ.).
16. Khaitmetova, S.B., Turaev, A.S., Khalilova, G.A., Tagayalieva, N.A., Abboskhonova, M.O. Clinical pharmacology. 2022. V. 85. No. 12. p. 38-41. DOI: 10.30906/0869-2092-2022-85-12-38-41.
17. Shcherbakova, N.A., Misteneva, S.Yu., Rudenko, O.S., Kondratiev, N.B., Baskakov, A.V. (2021). Study of the influence of oat processing products on the change in the qualitative characteristics of flour confectionery // Technology and technology of food production. 51. (4). 832-848. DOI: 10.21603/2074-9414-2021-4-832-848. (In Russ.).
18. Jakubczyk, K., Kwiatkowski, M., Sienkiewicz, Janda K. (2018). The content of polyphenols in extract from goutweed (Aegopodium podagraria L.) and their antistaphylococcal activity / K. Jakubczyk, P. // Post. Fitoter. 1. 3-9.
19. Wróblewska, A., Janda-Milczarek, E., Kucharska, M., Walasek, P. (2019). Effect of extraction method on the antioxidative activity of ground elder (Aegopodium podagraria L.) // Polish Journal of Chemical Technology. 21. 13-181.
20. Ermosh, L.G., Prisukhina, N.V., Nepomnyashchikh, E.N. (2022). Evaluation of the nutritional value of hemp flour relative to traditional types of gluten-free flour // Vestnik KrasGAU. 8 (185). 194-201. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-8-194-201 (In Russ.).
21. Guidelines MR 2.3.0253-2021 "Norms of physiological needs for energy and nutrients for various population groups." Moscow. 2021. 72 s. (In Russ.).
22. TR TS 022/2011 "Food products in terms of their labeling". FSUE "Standartinform". Moscow. 2014. 23 p. (In Russ.).

Information about the author

I. Yu. Reznichenko - Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Department of Biotechnology and Food Production, Kuzbass State Agricultural Academy.

T. A. Miroshina - Ph.D. Pedagog.Sci., Associate Professor of the Department of Pedagogical Technologies, Kuzbass State Agricultural Academy.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.*

Статья поступила в редакцию 16 мая 2023; одобрена после рецензирования 18 сентября 2023; принята к публикации 20 ноября 2023.

The article was received by the editorial board on 16 May 2023; approved after editing on 18 Sep 2023; accepted for publication on 20 Nov 2023.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 663.051.2

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.009



ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЯБИНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ В ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЕ АЛТАЙСКОГО КРАЯ, ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ

Елена Владимировна Скороспелова ¹, Оксана Юрьевна Михайлова ²,
Наталья Кирилловна Шелковская ³

^{1,2} Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, Барнаул, Россия

³ Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

¹ elenkavinodel@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9508-7342>

² miailova_oxana007@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4554-9449>

³ shelk49@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1335-1718>

Аннотация. В работе изучена возможность использования свежих и замороженных плодов рябины обыкновенной и рябины Невежинской, произрастающей в условиях Алтайского края для производства протертых масс с сахаром и компотов. Представлены данные физико-химического состава и его влияние на органолептические качества готовых продуктов. Установлено, что рябина обыкновенная отличается от рябины Невежинской меньшим содержанием сахаров (7,1; 9,0 %) и титруемых кислот (2,0; 3,5 %), но большим значением сахарокислотного индекса. Содержание растворимых сухих веществ на высоком уровне 19,8–25,8 %. По количеству витамина С рябина Невежинская (20,0 %) уступает рябине обыкновенной (45,0 %). Содержание пектина в образцах 0,69–1,01 %, сумма пектиновых веществ 1,18–1,41 %. Степень этерификации также высокая – 70,86 % у рябины обыкновенной и 89,06 % у рябины Невежинской. Наличие высокоэтерифицированных пектинов в сочетании с высоким содержанием растворимых сухих веществ (в том числе сахаров) и органических кислот свидетельствует о высокой способности желирования. На основании органолептической оценки продуктов переработки показана возможность использования плодов рябины обыкновенной и рябины Невежинской.

Ключевые слова: протертые массы, консервирование, органолептическая оценка, рябина обыкновенная, рябина Невежинская, химический состав, компот, продукты переработки, плоды.

Для цитирования: Скороспелова Е. В., Михайлова О. Ю., Шелковская Н. К. Возможность использования рябины обыкновенной, произрастающей в лесостепной зоне Алтайского края, для производства продуктов переработки // Ползуновский вестник. 2023. № 4, С. 70–75. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.009. EDN: <https://elibrary.ru/GDSDLU>.

Original article

PROCESSING POTENTIAL OF MOUNTAIN ASH, GROWING IN FOREST-STEPPE AREA OF ALTAI TERRITORY

Elena V. Skorospelova ¹, Oxana Yu. Mikhailova ², Natalia K. Shelkovskaya ³

^{1,2} Federal Altai Scientific Center for Agrobiotechnology, Barnaul, Russia

³ Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

¹ elenkavinodel@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9508-7342>

² miailova_oxana007@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4554-9449>

³ shelk49@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1335-1718>

© Скороспелова Е. В., Михайлова О. Ю., Шелковская Н. К., 2023

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЯБИНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ В ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЕ АЛТАЙСКОГО КРАЯ, ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ

Abstract. *The processing possibility of fresh and frozen fruits of wild mountain ash as well as Nevezhinskaya variety, growing in conditions of Altai Territory for production of sugar added pureed masses and compotes has been studied. The data of the physico-chemical composition and its influence on organoleptic features of the products are presented. It has been revealed that wild mountain ash differs from Nevezhinskaya variety by a lower content of sugars (7.1; 9.0%) and titratable acids (2.0; 3.5%), but by higher value of the sugar-acid index. High level of soluble solids content ranged from 19.8 up to 25.8% has been stated. Wild form of mountain ash has a higher content of vitamin C (45.0%) compare to Nevezhinskaya variety (20.0%). The content of pectin in studied forms is 0.69-1.01% and the total amount of pectin substances is 1.18-1.41%. The esterification level is quite high - 70.86% for wild form of mountain ash and 89.06% for Nevezhinskaya variety. The presence of highly esterified pectins in combination with a high content of soluble solids (including sugars) and organic acids indicates a high gelling ability. In accordance to organoleptic estimation of the processed products, the possibility of using the fruits of wild form of mountain ash as well as Nevezhinskaya variety has been shown.*

Keywords: *pureed masses, canning, organoleptic evaluation, mountain ash, mountain ash variety Nevezhinskaya, chemical composition, compote, processed products, fruits.*

For citation: Skorospelova, E. V., Mikhailova, O. Yu. & Shelkovskaya, N. K. (2023). Processing potential of mountain ash, growing in forest-steppe area of Altai territory. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 70-75. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.009. EDN: <https://elibrary.ru/GDSDLU>.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из перспективных плодовых культур в России для использования в качестве сырья в перерабатывающей отрасли с целью получения высококачественных пищевых продуктов, обогащенных биологически активными веществами, в настоящее время является рябина (*Sorbus L.*). Она произрастает в Европейской и Сибирской части России, горных районах Крыма и Кавказа. Наиболее распространена рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia L.*) и ее сладкоплодные формы – рябины Невежинская (*S. aucuparia var. rossica*), моравская (*S. aucuparia var. moravica*) и другие [1, 2].

Плоды этой культуры обладают пищевой, диетической и лечебной направленностью. Они представляют ценность как источник каротиноидов, пектиновых веществ, витамина РР, витаминов группы В, имеют в своем составе сахара, клетчатку, макро- и микроэлементы (калий, кальций, магний, медь, железо). По содержанию витамина С рябина превосходит многие плодовые культуры, в том числе яблоню и грушу. В значительных количествах плоды содержат органические кислоты, такие как яблочную, лимонную, сорбиновую, янтарную, кофейную, хлорогеновую. В плодах обнаружены незаметные аминокислоты аргинин, тирозин, гистидин, лизин и др. Рябина занимает одно из первых мест среди плодовых и ягодных культур по содержанию Р-активных веществ. Полифенолы плодов рябины представлены антоцианами, лейкоантоцианами, флавонолами и катехинами [2–7].

Рябина обыкновенная наряду с вышеперечисленными достоинствами имеет существенный недостаток – горький и терпкий вкус плодов, обусловленный наличием в ее составе дубильных веществ. На ее фоне большой интерес как сырье представляет рябина невежинская. Рябина Невежинская – первая сладкоплодная форма рябины обыкновенной, отличается от нее отсутствием естественной горечи и терпкости [4].

Плоды рябины можно употреблять как в свежем виде, так и в переработанном. Из них готовят варенье, джем, пастилу, сок, мармелад, наливки, настойки, компоты. Большой популярностью обладают сушеные плоды. Высушенные плоды рябины обыкновенной используются в качестве лекарственного растительного сырья [4].

Продукты переработки рябины обыкновенной отличаются горечью и терпкостью во вкусе, присущим свежим плодам, использованным в качестве сырья. Одним из способов устранения горечи плодов рябины является замораживание.

Исследования на пригодность рябины обыкновенной к переработке на сок, пюре, компот, чай, пастилу и др. проводились во ВНИИГ и СПР им. И.В. Мичурина, ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ, РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Уральской ГСХА, СФНЦА РАН [2, 3, 8–10]. Исходя из литературных данных, изучение возможности использования рябины обыкновенной, произрастающей в условиях лесостепной зоны Алтайского края в качестве сырья для продуктов пищевого назначения, является актуальным и требует глубоких исследований.

ОБЪЕКТЫ, УСЛОВИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования выполнены в лаборатории промышленных технологий отдела «Научно-исследовательский институт садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко» ФГБНУ ФАНЦА.

Объекты исследований: плоды рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia*) и рябины Невежинской, произрастающих в условиях лесостепи Алтайского края, полученные из них протертые массы с сахаром, компоты. Физико-химические исследования плодов проводили по следующим методикам:

- массовая концентрация сахаров – ГОСТ 13192-73;
- растворимые сухие вещества – А.И. Ермаков. Методы биохимического исследования растений. Л., 1972 г.;
- титруемая кислотность – Ермаков А.И., Арасимович В.В. Методы биохимического исследования растений. М.-Л., 1952 г.;
- аскорбиновая кислота – ГОСТ 24556-89;
- пектиновые вещества – ГОСТ 29059-91.

Анализы проведены в 3-х кратной повторности. Органолептическая оценка проведена по ГОСТ 8756.1-2017.

Цель работы: оценка органолептических качеств продуктов переработки из рябины обыкновенной, произрастающей в условиях лесостепи Алтайского края.

Научная работа представляет новизну и актуальность, так как плоды рябины обыкновенной и Невежинской местного произрастания на пригодность к технологической переработке не изучены.

Задачи исследований:

1. Изучить физико-химический состав плодов рябины обыкновенной и рябины Невежинской.
2. Приготовить образцы компотов и протертых масс с сахаром из плодов рябины обыкновенной и рябины Невежинской.
3. Дать органолептическую оценку продуктов консервирования.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для приготовления протертых масс с сахаром свежие плоды рябины подвергали инспекции, мойке. Затем проводили бланширование при температуре 40–60 °С и измельчение. Для получения однородной консистенции протирали измельченную массу через капроновое сито с диаметром ячеек 0,7–1,5 мм на ручной протирке.

Полученную массу смешивали с сахарным песком в соотношении 1:0,6, тщательно перемешивали и уваривали, фасовали. Далее пастеризовали на водяной бане открытым способом при температуре 95 °С в течение 5 мин – 0,2 л, 10 мин. – 0,5 л., герметично укупоривали.

Плоды рябины для приготовления компота отбирали по размеру, здоровые, без повреждений, равномерно созревшие. Помытые плоды фасовали в банки объемом 0,65 л по 300 г вручную. Сироп готовили согласно рецептуре, изложенной в технологических инструкциях, концентрация сиропа 20 %. Плоды заливали сиропом и проводили пастеризацию на водяной бане при температуре 95 °С. Затем герметично укупоривали.

С целью оценки изменения органолептических качеств продуктов переработки после замораживания сырья нами были приготовлены опытные образцы протертых масс с сахаром и компотов из предварительно замороженных плодов рябины обыкновенной. Для приготовления консервов ягоды дефростировали. Далее процесс проводили по технологическим схемам приготовления из свежих плодов.

Приготовленные консервы из свежих и замороженных плодов рябины обыкновенной и свежих плодов рябины Невежинской поставлены на хранение при температуре до 15 °С.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Качество получаемого продукта зависит от физико-химического состава используемого сырья и соотношения его компонентов. Плоды рябины обыкновенной и рябины Невежинской исследованы по основным физико-химическим показателям (таблица 1).

Пригодность плодов к переработке зависит от таких показателей, как содержание сахаров и органических кислот. На вкусовые характеристики готового продукта оказывает влияние их соотношение – сахарокислотный индекс. Рябина обыкновенная отличается от рябины Невежинской меньшим содержанием сахаров (7,1 и 9,0 % соответственно) и титруемых кислот (2,0 и 3,5 % соответственно), но большим значением сахарокислотного индекса. Сахарокислотный индекс у плодов низкий (3,6 и 2,6 ед.), что говорит о преобладании кислоты во вкусе. Содержание растворимых сухих веществ находится на высоком уровне 19,8–25,8 %. Для производства протертых масс с сахаром используют сырье, богатое пектиновыми веществами. Исследуемые образцы соответствуют этим требованиям. Содержание пектина в образцах 0,69–1,01 %, сумма пектиновых веществ 1,18–1,41 %. Сте-

**ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЯБИНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ
В ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЕ АЛТАЙСКОГО КРАЯ, ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА
ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ**

пень этерификации также высокая – 70,86 % у рябины обыкновенной и 89,06 % у рябины Невежинской. Наличие высокоэтерифицированных пектинов в сочетании с высоким содержанием растворимых сухих веществ

(в том числе сахаров) и органических кислот свидетельствует о высокой способности желирования. По количеству витамина С рябина Невежинская (20,0 мг/100 г) уступает рябине обыкновенной (45,0 мг/100 г).

Таблица 1 – Физико-химический состав плодов рябины обыкновенной

Table 1 – Physico-chemical composition of the fruits of mountain ash

Образец	РСВ, %	Сахара, %	Титруемая кислот- ность, %	СКИ, ед.	Витамин С, мг/100 г	П, %	СП, %	СЭП, %
Рябина обыкновен- ная	19,8± 0,1	7,1±0,1	2,0±0,1	3,6± 0,1	45,0± 0,1	0,69± 0,1	1,41± 0,1	70,86± 0,1
Рябина Не- вежинская	25,8± 0,1	9,0±0,1	3,5±0,1	2,6± 0,1	20,0± 0,1	1,01± 0,1	1,18± 0,1	89,06± 0,1

Примечание: РСВ – растворимые сухие вещества; СКИ – сахарокислотный индекс; П – пектин; СП – сумма пектиновых веществ; СЭП – степень этерификации пектина

После длительного (6 мес.) хранения проведена оценка органолептических показателей компотов и протертых масс с сахаром по пятибалльной системе (таблица 2).

По внешнему виду компоты представляют собой равномерные по величине плоды рябины, залитые сиропом. Ягоды имеют плотную консистенцию. Сироп прозрачный, желто-розоватого цвета. Аромат хорошо выраженный, свойственный красной рябине. По общей дегустационной оценке отличился

компот из рябины Невежинской (4,9 балла). Вкус компота кисло-сладкий с небольшой горчинкой. Более существенно горечь ощущается в компотах из рябины обыкновенной. Дегустационная оценка образца из свежей рябины составила 4,5 балла, образец из замороженной рябины получил оценку 4,6 балла. По органолептическим показателям все образцы компотов соответствуют требованиям ГОСТ 816-2017.

Таблица 2 – Органолептическая оценка продуктов переработки из рябины обыкновенной, балл

Table 2 – Organoleptic evaluation of processed products from mountain ash, point

Образец	Внешний вид	Вкус	Аромат	Консистенция	Общая оценка
Компот					
Рябина обыкновенная	4,5	4,4	4,6	4,6	4,5
Рябина обыкновенная после заморозки	4,6	4,4	4,7	4,7	4,6
Рябина Невежинская	4,8	4,9	4,9	4,9	4,9
Протертая масса с сахаром					
Рябина обыкновенная	4,9	4,4	4,6	4,6	4,6
Рябина обыкновенная после заморозки	4,9	4,5	4,7	4,8	4,7
Рябина Невежинская	4,9	4,8	4,8	4,9	4,9

По внешнему виду протертые массы представляют собой однородную массу протертых ягод. Все образцы хорошо зажелиро-

вали. Цвет желто-красно-коричневый, у образца из рябины Невежинской более светлый. Аромат рябиновый, соответствующий

сырью, из которого приготовлен продукт. Все протертые массы получили высокую дегустационную оценку (4,6–4,9 балла). По максимальным баллам выделен образец протертой массы из рябины Невежинской, обладающий кисло-сладким, приятным вкусом, с легкой горчинкой, отличается более плотной и нежной консистенцией. Протертые массы из рябины обыкновенной также имеют приятный вкус. Незначительная терпкость и горечь не оказывает отрицательного влияния на их вкусовые качества. Общая дегустационная оценка протертой массы из рябины свежей и замороженной отличается незначительно – 4,6 и 4,7 балла соответственно. По органолептическим показателям все образцы протертых масс сахаром соответствуют требованиям ГОСТ Р 54681-2011.

По результатам дегустации можно сделать вывод о том, что заморозка ягод рябины обыкновенной не оказала существенного влияния на органолептические качества готового продукта.

ВЫВОДЫ

1. Впервые в условиях лесостепной зоны Алтайского края установлено влияние особенностей физико-химического состава плодов рябины обыкновенной и рябины Невежинской на их пригодность к переработке на протертые массы с сахаром и компоты.

2. Показана перспективность использования плодов рябины обыкновенной и рябины Невежинской в технологической переработке с целью получения продуктов питания высокого качества.

3. В процессе органолептического анализа всех образцов по вкусу, аромату, цвету и внешнему виду установлено, что протертые массы с сахаром и компоты из свежих и замороженных плодов рябины обыкновенной и рябины Невежинской соответствуют требованиям ГОСТ Р 54681-2011 и ГОСТ 816-2017.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ренгартен Г.А., Сорокопудов В.Н. Интродукция и селекция *Sorbus* (Rosaceae) в качестве пищевого растения в странах мира // Экосистемы. 2019. № 18 (48). С. 89–96.

2. Винницкая В.Ф., Перфилова О.В. Технология функциональных и специализированных продуктов питания с использованием адаптивного сортимента местного растительного сырья : монография. Мичуринск; Мичуринский государственный аграрный университет, 2018. 184 с.

3. Евтушенко Н.С., Кирсанов Ю.А. Переработка плодов рябины на продукты пищевого назначения // Аграрный вестник Урала. 2008. № 6 (48). С. 88–89.

4. Никифорова А.Г., Мухаметова С.В., Скочилова Е.А. Изучение количественного содержания органических кислот и каротина в плодах рябины // Современные проблемы естественных наук и медицины : сборник статей Всероссийской научной конференции с международным участием. Йошкар-Ола, 2021. Вып. 10. С. 396–401.

5. Никифорова А.Г., Скачилова Е.А. Анализ содержания биологически активных веществ в плодах рябины // Современные проблемы естественных наук и фармации : сборник статей Всероссийской научной конференции с международным участием. Йошкар-Ола, 2022. Вып.11. С. 349–352.

6. Скочилова Е.А., Конюхова О.М., Мухаметова С.В. Показатели плодов рябины (*Sorbus L.*) и содержание в них вторичных метаболитов // Вестник поволжского государственного технологического университета. 2022. № 3 (55). С. 52–62.

7. Наумова Н.Л., Велисевич Е.А. Качество и пищевая ценность плодов рябины красной // Modernscience. 2021. № 11–1. С. 24–28.

8. Романова Н.Г. Плоды боярышника и рябины – перспективный сырьевой источник для создания продуктов функционального питания // Достижения науки и техники АПК. 2008. № 9. С. 59–62.

9. Нициевская К.Н., Копылова А.В., Мотовилов О.К. Исследование органолептических показателей хлебобулочных изделий с использованием рябины красной // Вестник КрасГАУ. 2021. № 12 (177). С. 238–246. doi : 10.36718/1819-4036-2021-12-238-246.

10. Нициевская К.Н., Мотовилов О.К., Мотовилов К.Я., Щербинин В.В. Исследование продукции из плодов рябины красной, полученной с применением энергии кавитации // XXI век; итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2019. Т. 8. № 2 (46). С. 92–98.

Информация об авторах

Е. В. Скороспелова – научный сотрудник Федерального Алтайского научного центра агробιοтехнологий.

О. Ю. Михайлова – младший научный сотрудник Федерального Алтайского научного центра агробιοтехнологий.

Н. К. Шелковская – доцент кафедры технологии бродильных производств и виноделия Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

REFERENCES

1. Rengarten, G.A. & Sorokopudov, V.N. (2019). Introduction and selection of *Sorbus* (Rosaceae) as a food plant in the countries of the world. *Ecosystems*, 18 (48), 89-96. (In Russ.).

2. Vinnitskaja, V.F. & Perfilova, O.V. (2018). Technology of functional and specialized food products using an adaptive assortment of local plant raw

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЯБИНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ
В ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЕ АЛТАЙСКОГО КРАЯ, ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА
ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ

materials. Michurinsk : Michurin State Agrarian University. (In Russ.).

3. Evtushenko, N.S. & Kirsanov, Yu.A. (2008). Processing of rowan fruits for food products. *Agrarian Bulletin of the Urals*, 6 (48), 88-89. (In Russ.).

4. Nikiforova, A.G., Muhametova, S.V. & Skochilova, E.A. (2021). Study of the quantitative content of organic acids and carotene in rowan fruits. *Proceedings of the all-Russian scientific conference (with international participation) «Modern problems of natural sciences and medicine»*. Yoshkar-Ola. (In Russ.).

5. Nikiforova, A.G. & Skochilova, E.A. (2022). Analysis of the content of biologically active substances in rowan fruits. *Proceedings of the all-Russian scientific conference (with international participation) «Modern problems of natural sciences and pharmacy»*. Yoshkar-Ola. (In Russ.).

6. Skochilova, E.A., Konyuhova, O.M. & Muhametova, S.V. (2022). Indicators of rowan fruits (*Sorbus L.*) and content of secondary metabolites in them. *Bulletin of the Volga State Technological University*, 3 (55), 52-62. (In Russ.).

7. Naumova, N.L. & Velisevich, E.A. (2021). Quality and nutritional value of red ashberry fruits. *Modernscience*, (11-1), 24-28. (In Russ.).

8. Romanova, N.G. (2008). Hawthorn and rowan fruits are a promising raw material source for creating

functional food products. *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*, (9), 59-62. (In Russ.).

9. Nitsievskaya, K.N., Kopylova, A.V. & Motovilov, O.K. (2012). The study of organoleptic indicators of bakery products using red mountain ash. *Bulletin of the KrasSAU*, 12 (177), 238-246. (In Russ.). Doi : 10.36718/1819-4036-2021-12-238-246.

10. Nitsievskaya, K.N., Motovilov, O.K., Motovilov, K.Ya. & Shcherbinin, V.V. (2019). Investigation of products from the fruits of the red mountain ash, obtained using the energy of cavitation. *XXI Century; the results of the past and the problems of the present plus*, 2 (46), 92-98. (In Russ.).

Information about the authors

E. V. Skorospelova - Researcher at the Federal Altai scientific center for agrobiotechnology.

O. Yu. Mikhailova - Junior Researcher at the Federal Altai scientific center for agrobiotechnology.

N. K. Shelkovskaya - Associate Professor of the Department of Technology of Fermentation and Winemaking Polzunov Altai State Technical University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 17 мая 2023; одобрена после рецензирования 18 сентября 2023; принята к публикации 20 ноября 2023.

The article was received by the editorial board on 17 May 2023; approved after editing on 18 Sep 2023; accepted for publication on 20 Nov 2023.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК664.8/.9:577.164.1

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.010

 EDN: GEZAMK

РАЗРАБОТКА ОРИГИНАЛЬНЫХ МЯСОРАСТИТЕЛЬНЫХ КОНСЕРВОВ, ОБОГАЩЕННЫХ ТИАМИНОМ И НИАЦИНОМ

Антонина Александровна Рядинская ¹, Сергей Александрович Чуев ²,
Иван Александрович Кощаев ³, Кристина Витальевна Лавриненко ⁴

^{1, 2, 3, 4} Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина», Россия, ул. Вавилова, 1, п. Майский, Белгородский р-н, Белгородская обл., 308503, info@bsaa.edu.ru

Аннотация. Основное направление развития современной индустрии питания связано с оптимизацией состава продуктов массового потребления. Здоровье человека во многом зависит от организации питания и качества потребляемой пищи.

Коллективом авторов разработаны и апробированы в лабораторных условиях рецептуры оригинальных мясорастительных консервов функциональной направленности для оптимального питания населения, испытывающего недостаток тиамина и ниацина.

Изучены показатели качества готовых консервированных блюд. Установлено, что микробиологические и санитарно-гигиенические свойства разработанных оригинальных мясорастительных консервов соответствуют требованиям безопасности.

По концентрации белков, углеводов, калия, кальция, магния, фосфора, железа, тиамина, ниацина и энергии отличились оригинальные мясорастительные консервы с одинаковым соотношением мясной части и бобового компонента. Жиров, натрия и рибофлавина зафиксировано одинаковое количество во всех оригинальных мясорастительных консервах. Витаминов С и А больше обнаружено в оригинальных мясорастительных консервах с равным соотношением мясной части и овощного компонента.

В результате проведенной работы получены и отработаны рецептуры консервированного продукта функциональной направленности, обогащенного тиамином и ниацином и характеризующегося хорошими потребительскими свойствами.

Ключевые слова: мясорастительные консервы, чечевица красная, пищевая ценность, витамины, минеральные вещества.

Для цитирования: Разработка оригинальных мясорастительных консервов, обогащенных тиамином и ниацином / А. А. Рядинская [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 4, С. 76–84. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.010. EDN: <https://elibrary.ru/GEZAMK>.

Original article

DEVELOPMENT OF ORIGINAL MEAT-GROWING RECIPES ENRICHED WITH THIAMINE AND NIACIN

Antonina A. Ryadinskaya ¹, Sergey A. Chuev ²,
Ivan A. Koshchayev ³, Kristina V. Lavrinenko ⁴

Russia Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin», Russia, Vavilova str., 1, Maysky village, Belgorod district, Belgorod region, 308503, info@bsaa.edu.ru

© Рядинская А. А., Чуев С. А., Кощаев И. А., Лавриненко К. В., 2023

Abstract. *The main direction of development of the modern food industry is associated with the optimization of the composition of mass consumption products. Human health largely depends on the organization of nutrition and the quality of food consumed. A team of authors has developed and tested in the laboratory formulations of original canned meat of functional orientation for optimal nutrition of the population experiencing a lack of thiamine and niacin. The quality indicators of ready-made canned dishes have been studied. It has been established that the microbiological and sanitary-hygienic properties of the developed original canned meat and vegetable products meet the safety requirements. According to the concentration of proteins, carbohydrates, potassium, calcium, magnesium, phosphorus, iron, thiamine, niacin and energy, original canned meat with the same ratio of the meat part and the bean component distinguished themselves. The same amount of fats, sodium and riboflavin was recorded in all original canned meat.*

Keywords: *canned meat, red lentils, nutritional value, vitamins, minerals.*

For citation: Ryadinskaya, A. A., Koshchaev, I. A., Chuev, S. A. & Lavrinenko, K. V. (2023). Development of original meat-growing recipes enriched with thiamine and niacin. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 76-84. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.010. EDN: <https://elibrary.ru/GEZAMK>.

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня каждый пятый взрослый житель нашей страны испытывает нехватку трех и более витаминов. Среди них тиамин и ниацин (<https://ria.ru/20181012/1530457634.html>).

Витамины наряду с минеральными веществами относят к биофакторам. Зачастую ввиду различных обстоятельств (длительное физическое напряжение, повышенный уровень глюкозы и др.) организм человека не способен эффективно усваивать полезные вещества в соответствии с нормативными показателями потребности в них либо они требуются в количествах, превышающих средние для здоровых людей, что приводит к отклонениям в самочувствии человека. Так, дефицит тиамина способен вызвать известное заболевание бери-бери [1, 2].

Важнейшими для питания населения веществами богаты мясорастительные консервы, которые к тому же удобно транспортировать и длительно хранить. Мясной ингредиент консервированного продукта служит, в первую очередь, источником незаменимых аминокислот, а растительное сырье – углеводов, пищевых волокон, ряда витаминов, минеральных элементов. Придерживаясь пропорции содержания мяса, круп и овощей, можно разработать идеально сбалансированный питательный консервированный продукт для повседневного потребления всех групп населения [3, 4].

Изготовление мясных и мясорастительных консервов вносит значительный вклад в развитие отечественной мясной промышленности.

Длительный период времени мясные баночные консервы считаются основой стратегических запасов страны.

Мясорастительные консервы, произведенные при условии соблюдения требований технической и нормативной документации, характеризуются довольно высокими потребительскими свойствами и способны удовлетворять самые разнообразные предпочтения потребителей и частично восполнять дефицит потребления мяса.

Рост числа крупных супермаркетов и торговых сетей создает условия для насыщения потребительского рынка мясорастительными консервами разных наименований и производителей.

В настоящее время пищевая индустрия ориентирована на производство функциональных продуктов питания с новыми свойствами, улучшающими здоровье. Качественные характеристики подобных продуктов изменены путем введения в рецептурную композицию полезных пищевых ингредиентов, что способствует удовлетворению человека в полезных веществах, а также улучшает работу систем организма.

Функциональные продукты могут быть использованы для коррекции питания населения, тем самым помогать решению глобальной проблемы оптимизации питания, сохранения здоровья и продления жизни людей [5–7].

Цель работы – создание консервированного продукта функциональной направленности для оптимального питания людей, испытывающих недостаток тиамина и ниацина.

Задачи:

- определение характеристики компонентов, наиболее подходящих для оптимизации питательных процессов;
- технологическое обоснование производства мясорастительных консервов для

оптимального питания людей, у которых зафиксирован недостаток тиамина и ниацина;

- подтверждение химического состава, качественных свойств и функциональной направленности разработанного продукта.

Объекты: разработанные оригинальные мясорастительные консервы функциональной направленности для оптимального питания.

МЕТОДЫ

Исследования выполнены в условиях лабораторий кафедры технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции технологического факультета ФГБОУ ВО «Белгородский ГАУ» и направлены на расширение ассортимента консервированной мясорастительной продукции.

В ходе проделанной работы разработаны рецептурные композиции оригинальных мясорастительных консервов функциональной направленности для оптимального питания населения, у которого наблюдается гиповитаминоз тиамина и ниацина.

Соотношение компонентов продукта установлено расчетным путем, исходя из концентрации тиамина и ниацина в мясном и растительном сырье, необходимого для обеспечения готовых мясорастительных консервов количеством тиамин и ниацином, соответствующим суточной физиологической норме потребления указанных витаминов.

Полученные в рамках исследования результаты направлялись на компьютерную обработку посредством пакета программ «STATISTIKA 7.0» и P7-Офис.

В ходе проведенной работы разработаны и изучены оригинальные мясорастительные консервы функциональной направленности для оптимального питания:

- опытный образец № 1 – оригинальные мясорастительные консервы с одинаковым соотношением мясной части и бобового компонента;

- опытный образец № 2 – оригинальные мясорастительные консервы с равным соотношением мясной части и овощного компонента;

- опытный образец № 3 – оригинальные мясорастительные консервы с одинаковым соотношением бобового и овощного компонентов.

Содержание мясной части во всех опытных образцах составило 37,5 %.

В качестве основных ингредиентов применяли: свинину жилованную, чечевицу тарелочную продовольственную, овощи: лук репчатый свежий, морковь столовую свежую, кабачки свежие, перец сладкий свежий.

Мясная часть – свинина – источник витаминов группы В (особо богата тиамином), минералов, креатина, таурина, глутатиона, белков в большом количестве [7–9].

Бобовый компонент – чечевица тарелочная продовольственная. Семена культуры содержат углеводы (клетчатка и пектин), полноценный, дешевый, экологически чистый белок, множество минеральных веществ, витаминов в большом количестве, в том числе и β-каротин, ниацин, тиамин, рибофлавин, пиридоксин. Чечевицу широко используют в современных видах питания населения [10–12]. Таким образом, использование семян культуры в технологии производства мясорастительных консервов способствует дополнению мясного сырья физиологически активными веществами для решения задач оптимального питания и расширения ассортимента изделий из мяса [13–15].

Овощи – основные поставщики клетчатки, витаминов, органических кислот, пектиновых веществ, а также минеральных элементов щелочного характера, углеводов [7–9].

Выработка опытных образцов оригинальных мясорастительных консервов осуществлялась согласно разработанной технологической схеме, приведенной на рисунке 1.

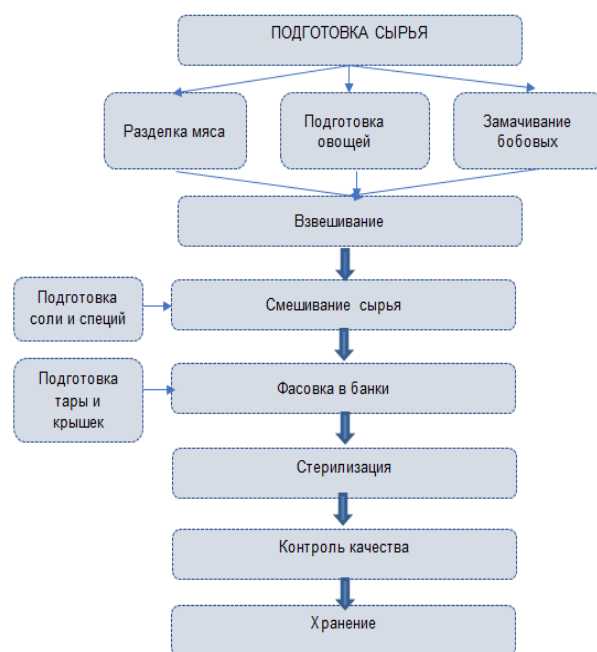


Рисунок 1 – Технологическая схема оригинальных мясорастительных консервов функциональной направленности для оптимального питания

Figure 1 – Technological scheme of production of original canned meat of functional orientation for optimal nutrition

РАЗРАБОТКА ОРИГИНАЛЬНЫХ МЯСОРАСТИТЕЛЬНЫХ КОНСЕРВОВ, ОБОГАЩЕННЫХ ТИАМИНОМ И НИАЦИНОМ

РЕЗУЛЬТАТЫ

После выработки опытных образцов оригинальных мясорастительных консервов согласно действующей нормативной документации установлено качество готового продукта.

Определены показатели пищевой ценности (количество белков, жиров, углеводов), энергетическая ценность (калорийность); концентрация минеральных веществ и витаминов.

Содержание белков составило от 8,0 г в оригинальных мясорастительных консервах с равным соотношением мясной части и овощного компонента до 10,0 г в оригинальных мясорастительных консервах с одинаковым соотношением мясной части и бобового компонента (таблица 1).

Таблица 1 – Пищевая и энергетическая ценность 100 гр оригинальных мясорастительных консервов

Table 1 – Nutritional and energy value 100 g of original canned meat

Опытный образец	Пищевая ценность, г			Энергетическая ценность (кКал)
	Белки	Жиры	Углеводы	
1	10,0 ± 0,48	15,0 ± 0,75	12,0 ± 0,60	220,0 ± 11,00
2	8,0 ± 0,43	15,0 ± 0,75	8,0 ± 0,43	200,0 ± 10,00
3	9,0 ± 0,45	15,0 ± 0,75	10,0 ± 0,51	210,0 ± 10,50

В опытных образцах оригинальных мясорастительных консервов концентрация жиров составила 15,0 г.

Содержание углеводов изменялось от 8,0 г в оригинальных мясорастительных консервах с равным соотношением мясной части и овощного компонента до 12,0 г – в оригинальных мясорастительных консервах с одинаковым соотношением мясной части и бобового компонента. Замена бобового сырья на овощное позволило уменьшить показатель на четверть.

Энергетическая ценность опытных образцов оригинальных мясорастительных консервов составила от 200 кКал в оригинальных мясорастительных консервах с равным соотношением мясной части и овощного компонента до 220 кКал – в оригинальных мясорастительных консервах с одинаковым соотношением мясной части и бобового компонента.

Рассмотрен минеральный состав опытных образцов мясорастительных консервов (таблица 2).

Таблица 2 – Макроэлементный состав 100 гр оригинальных мясорастительных консервов

Table 2 – Macronutrient composition 100 g of original canned meat

Опытный образец	Макроэлементы, мг					
	Na	K	Ca	Mg	P	Fe
1	491,9± 24,57	273,1± 13,64	20,7± 1,02	24,6± 1,23	125,4± 6,25	1,9 ± 0,09
2	488,8± 24,41	245,1± 12,26	18,2± 0,90	21,7± 1,07	101,9± 5,08	1,4± 0,07
3	490,5± 24,50	261,0± 13,05	19,6± 0,97	23,4± 1,15	114,2 ± 5,70	1,7 ± 0,08

Содержание отдельных макроэлементов лучше у оригинальных мясорастительных консервов с одинаковым соотношением мясной части и бобового компонента.

По накоплению натрия опытные образцы мясорастительных консервов значительно не отличались.

Проанализирован витаминный состав опытных образцов мясорастительных консервов (таблица 3).

Таблица 3 – Витаминный состав 100 гр оригинальных мясорастительных консервов

Table 3 – Vitamin composition 100 g of original canned meat

Опытный образец	Витамины, мг				
	C	B ₁	B ₂	PP	A (мкг)
1	2,2 ± 0,10	0,2± 0,01	0,1 ± 0,01	2,7± 0,13	116,2± 5,80
2	3,7± 0,17	0,2± 0,01	0,1 ± 0,01	2,4± 0,11	227,9± 11,38
3	2,5 ± 0,12	0,2± 0,01	0,1 ± 0,01	2,6± 0,12	174,5± 8,71

Концентрация витаминов С и А лучше у оригинальных мясорастительных консервов с равным соотношением мясной части и овощного компонента. В опытных образцах оригинальных мясорастительных консервов содержание тиамина и рибофлавина составило 0,2 г и 0,1 г соответственно. Наибольшее количество тиамина зафиксировано в оригинальных мясорастительных консервах с одинаковым соотношением мясной части и бобового компонента – 2,7 г, витамина А – в ори-

гинальных мясорастительных консервах с равным соотношением мясной части и овощного компонента – 227,9 мкг.

ОБСУЖДЕНИЕ

Выполнен расчет нутриентного баланса опытных образцов оригинальных мясорастительных консервов в зависимости физиологически необходимого количества пищевых веществах, энергии, витаминов и минералов.

Обеспеченность белком варьировала от 11 % у оригинальных мясорастительных консервов с равным соотношением мясной части и овощного компонента до 13 % – у оригинальных мясорастительных консервов с одинаковым соотношением мясной части и бобового компонента.

Насыщение жиром опытных образцов оригинальных мясорастительных консервов составило 18 %.

Обеспеченность углеводами изменялась от 2 % у оригинальных мясорастительных консервов с равным соотношением мясной части и овощного компонента до 3 % – у оригинальных мясорастительных консервов с одинаковым соотношением мясной части и бобового компонента и оригинальных мясорастительных консервов с одинаковым соотношением бобового и овощного компонентов.

Насыщение энергией зафиксировано от 8 % у оригинальных мясорастительных консервов с равным соотношением мясной части и овощного компонента и оригинальных мясорастительных консервов с одинаковым соотношением бобового и овощного компонентов до 9 % – у оригинальных мясорастительных консервов с одинаковым соотношением мясной части и бобового компонента.

Обеспеченность натрием опытных образцов оригинальных мясорастительных консервов составило 12 %.

Насыщение калием изменялось от 9 % у оригинальных мясорастительных консервов с равным соотношением мясной части и овощного компонента и оригинальных мясорастительных консервов с одинаковым соотношением бобового и овощного компонентов до 10 % – оригинальных мясорастительных консервов с одинаковым соотношением мясной части и бобового компонента.

Обеспеченность кальцием варьировала от 2 % у оригинальных мясорастительных консервов с равным соотношением мясной части и овощного компонента до 3 % – у оригинальных мясорастительных консервов с одинаковым соотношением мясной части и бобового компонента и оригинальных мясо-

растительных консервов с одинаковым соотношением бобового и овощного компонентов.

Насыщение магнием зафиксировано от 5 % у оригинальных мясорастительных консервов с равным соотношением мясной части и овощного компонента до 6 % – у оригинальных мясорастительных консервов с одинаковым соотношением мясной части и бобового компонента и оригинальных мясорастительных консервов с одинаковым соотношением бобового и овощного компонентов.

Обеспеченность фосфором варьировала от 9 % у оригинальных мясорастительных консервов с равным соотношением мясной части и овощного компонента до 10 % – у оригинальных мясорастительных консервов с одинаковым соотношением мясной части и бобового компонента и оригинальных мясорастительных консервов с одинаковым соотношением бобового и овощного компонентов.

Насыщение железом изменялось от 10 % у оригинальных мясорастительных консервов с равным соотношением мясной части и овощного компонента до 14 % – оригинальных мясорастительных консервов с одинаковым соотношением мясной части и бобового компонента.

Обеспеченность витамином С составила от 3 % у оригинальных мясорастительных консервов с одинаковым соотношением мясной части и бобового компонента до 5 % – оригинальных мясорастительных консервов с равным соотношением мясной части и овощного компонента.

Насыщение тиамином зафиксировано от 15 % у оригинальных мясорастительных консервов с равным соотношением мясной части и овощного компонента до 17 % – у оригинальных мясорастительных консервов с одинаковым соотношением мясной части и бобового компонента (рисунок 2).

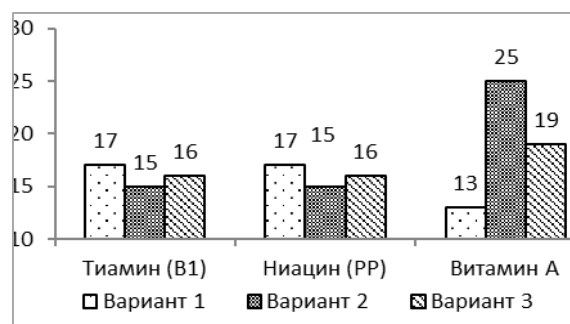


Рисунок 2 – Насыщение некоторыми витаминами оригинальных мясорастительных консервов (в расчете на 100 гр продукта)

Figure 2 – Saturation of original canned meat with some vitamins (per 100 g of product)

РАЗРАБОТКА ОРИГИНАЛЬНЫХ МЯСОРАСТИТЕЛЬНЫХ КОНСЕРВОВ, ОБОГАЩЕННЫХ ТИАМИНОМ И НИАЦИНОМ

Обеспеченность рибофлавином опытных образцов оригинальных мясорастительных консервов составила 5 %.

Насыщение ниацином изменялось от 15 % у оригинальных мясорастительных консервов с равным соотношением мясной части и овощного компонента до 17 % – у оригинальных мясорастительных консервов с одинаковым соотношением мясной части и бобового компонента.

Обеспеченность витамином А варьировалась от 13 % у оригинальных мясорастительных консервов с одинаковым соотношением мясной части и бобового компонента до 25 % – у оригинальных мясорастительных консервов с равным соотношением мясной части и овощного компонента.

Проведены органолептические исследования разработанных оригинальных мясорастительных консервов в соответствии с ГОСТ 33741-2015.

Комиссией проведен органолептический анализ, в ходе которого определено качество консервированных продуктов по органолептическим показателям.

Установлено соответствие внешнего вида, консистенции, цвета, вкуса и запаха требованиям ГОСТа 33741-2015. Результаты балльной оценки приведены на рисунке 3.

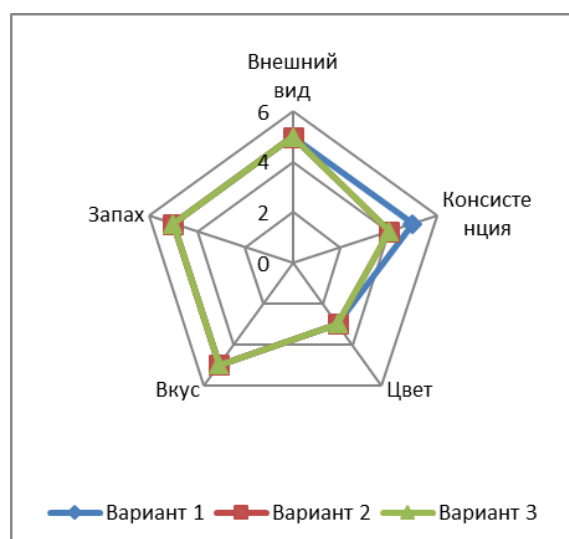


Рисунок 3 – Результаты органолептической оценки оригинальных мясорастительных консервов

Figure 3 – Results of organoleptic evaluation of original canned meat

На заключительном этапе разработки и исследований оригинальных мясорастительных консервов определены микробиологиче-

ские и гигиенические показатели консервированных продуктов по ТР ТС 034/2013 и ТР ТС 021/2011.

Микробиологические испытания на промышленную стерильность (по ГОСТ 30425-97) свидетельствовали о соответствии всех опытных образцов оригинальных мясорастительных консервов требованиям на промышленную стерильность. Выбранный процесс производства и разработанные рецептуры обеспечили микробиологическую безопасность консервированных продуктов и создали условия для их последующего хранения.

Проведены испытания опытных образцов оригинальных мясорастительных консервов по санитарно-гигиеническим показателям безопасности. Концентрация токсичных элементов, пестицидов, антибиотиков и радионуклидов во всех консервированных продуктах соответствовало требованиям ТР ТС 034/2013.

При этом содержание токсичных элементов (свинца, мышьяка, кадмия, ртути) значительно меньше величин ПДК.

Объем антибиотиков, попадающих в консервированные продукты из сырья, зафиксировано менее установленных допустимых уровней.

Концентрация пестицидов (гексахлорциклогексана, ДДТ и метаболитов), радионуклидов (цезия 137) также во всех опытных образцах оригинальных мясорастительных консервов не превышали предельных значений.

ВЫВОДЫ

Разработана гамма оригинальных мясорастительных консервов, не имеющих отклонений от требований нормативных документов, для оптимального питания населения.

Получены функциональные консервированные продукты, содержащие полноценный белок.

Функциональная направленность разработки подтвердилась способностью обеспечивать рацион человека тиамин и ниацином на 15 % и более (ГОСТ Р 56145-2014).

100 г оригинальных мясорастительных консервов с одинаковым соотношением мясной части и бобового компонента характеризовались насыщенностью белками на 13 %, жирами – 18 %, углеводами – 3 %, натрием – 12 %, калием – 10 %, кальцием – 3 %, магнием – 6 %, фосфором – 10 %, железом – 14 %, витамином С – 3 %, тиамин – 17 %, рибофлавином – 5 %, ниацином – 17 %, витамином А – 13 %, энергией – 9 %.

100 г оригинальных мясорастительных консервов с равным соотношением мясной части и овощного компонента способны обеспечить белками на 11 %, жирами – 18 %, углеводами – 2 %, натрием – 12 %, калием – 9 %, кальцием – 2 %, магнием – 5 %, фосфором – 9 %, железом – 10 %, витамином С – 5 %, тиаминном – 15 %, рибофлавином – 5 %, ниацином – 15 %, витамином А – 25 %, энергией – 8 %.

100 г оригинальных мясорастительных консервов с одинаковым соотношением бобового и овощного компонентов характеризовались насыщенностью белками на 12 %, жирами – 18 %, углеводами – 3 %, натрием – 12 %, калием – 9 %, кальцием – 3 %, магнием – 6 %, фосфором – 10 %, железом – 12 %, витамином С – 4 %, тиаминном – 16 %, рибофлавином – 5 %, ниацином – 16 %, витамином А – 19 %, энергией – 8 %.

Внедрение предлагаемых оригинальных мясорастительных консервов функциональной направленности в промышленный процесс будет способствовать расширению ассортимента консервированных готовых блюд, увеличению объема выработки продукции при одновременном уменьшении расхода мясного сырья, создаст условия для увеличения заинтересованности и получения признания потребителей, придерживающихся оптимального питания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хапалюк А.В. Роль биофакторов в организме человека и их клиническое значение: витамин В₁ // Лечебное дело : научно-практический терапевтический журнал. 2022. № 2(81). С. 9–15. EDN YBNNZR.

2. Солдатова С.Ю., Гурьева К.Б. Сравнительная оценка качества и безопасности мясных и мясорастительных консервов разных изготовителей в полимерных упаковочных материалах // Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд. 2021. № 15. С. 164–175. EDN KYUDFM.

3. Пылаев В.Е., Сайко С.Г. Органолептическое исследование мясорастительных консервов // Молодежь и наука. 2022. № 3. EDN YJOPAY.

4. Караева Л.В. Применение принципов системы ХАССП при производстве мясорастительных консервов // Научные труды студентов Горского государственного аграрного университета «Студенческая наука – агропромышленному комплексу»: Научные труды студентов Горского государственного аграрного университета, Владикавказ, 04–05 апреля 2019 года. Том 56/3. Владикавказ : Горский государственный аграрный университет, 2019. С. 344–347. EDN SCORTU.

5. Колосова П.И. Санитарно-микробиологические основы и анализ причин порчи при производстве мясных и мясорастительных консервов // Будущее науки – 2020 : Сборник научных статей 8-й Международной молодежной научной конференции, в 5-х томах, Курск, 21–22 апреля 2020 года / Ответственный редактор Горохов А.А. Том 4. Курск : Юго-Западный государственный университет, 2020. С. 23–25. EDN PJKUGE.

6. Мамиев К.Б. Оценка качества мясорастительных консервов // Вестник научных трудов молодых учёных, аспирантов, магистрантов и студентов ФГБОУ ВО «Горский государственный аграрный университет». Том 55. Часть III. Владикавказ : Горский государственный аграрный университет, 2018. С. 322–324. EDN JEAJDS.

7. Development of a recipe composition for canned meat and vegetables based on chicken meat with a legume component / A.A. Ryadinskaya, S.A. Chuev, N.B. Ordina [et al.] // Improving Energy Efficiency, Environmental Safety and Sustainable Development in Agriculture : International Scientific and Practical Conference, Saratov, 20–24 октября 2021 года. London: IOP Publishing Ltd, 2022. P. 012038. DOI: 10.1088/1755-1315/979/1/012038. EDNUDEHVF.

8. Рядинская А.А., Атрошенко А.А. Перспективы использования порошков из плодоовощной и ягодной продукции местного производства // Достижения и перспективы в сфере производства и переработки сельскохозяйственной продукции: Материалы III национальной научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения В.Я. Горина, Майский, 25 ноября 2022 года. Майский : Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2022. С. 262–263. EDN XVBUAV.

9. Органические микроэлементы – баланс продуктивности свиней на откорме и наращивания мяса / Н.П. Шевченко, Г.С. Походня, А.И. Шевченко [и др.] // Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии. 2022. № 4(26). С. 95–104. EDN PAGXQL.

10. Зыкова А.В. Разработка рецептуры и технологии мясорастительных консервов для людей, находящихся в военно-полевых условиях // Студенческая наука – взгляд в будущее : материалы XVII Всероссийской студенческой научной конференции, Красноярск, 16–18 марта 2022 года. Том Часть 1. Красноярск : Красноярский государственный аграрный университет, 2022. С. 502–504. EDN FMSKXI.

11. Зыкова А.В., Патиева А.М. Разработка рецептуры и технологии мясорастительных консервов для людей, находящихся в военно-полевых условиях // Научное обеспечение агропромышленного комплекса : Сборник статей по материалам 77-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2021 год. В 3-х частях, Краснодар, 01 марта 2022 года / Отв. за выпуск А.Г. Кошцаев. Том Часть 1. Краснодар : Кубанский госу-

РАЗРАБОТКА ОРИГИНАЛЬНЫХ МЯСОРАСТИТЕЛЬНЫХ КОНСЕРВОВ, ОБОГАЩЕННЫХ ТИАМИНОМ И НИАЦИНОМ

дарственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2022. С. 824–825. EDN OSSSFS.

12. Чижикова О.Г., Коршенко Л.О., Павлова М.А. Разработка композитных мучных смесей с использованием измельченных семян // Техника и технология пищевых производств. 2017. № 3(46). С. 89–95. EDN ZIWNID.

13. Долгошева Е.В. Влияние чечевицы на качество рулетов, запеченных из куриного филе // Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции : Сборник материалов II Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию Алтайского ГАУ и биолого-технологического факультета, Барнаул, 21 апреля 2023 года. Барнаул : Алтайский государственный аграрный университет, 2023. С. 43–48. EDN CNRINM.

14. Влияние различных круп на качество рулетов из мяса птицы / Е.В. Долгошева, Т.Н. Романова, Л.А. Коростелева // Биотехнологические приемы производства и переработки сельскохозяйственной продукции : материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Курск, 08 февраля 2021 года. Том Часть 2. Курск : Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова. 2021. С. 90–94.

15. Пищевая ценность муки из зернобобовых культур / А.М. Омаралиева, М.Ж. Султанова, М.Е. Кизатова, А.Ю. Боровский // Вестник Алтайского технологического университета. 2018. № 4. С. 12–18. EDN GJZQBP.

Информация об авторах

А. А. Рядинская – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры производства и переработки сельскохозяйственной продукции технологического факультета ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ (e-mail: antonina.yurchenko.63@mail.ru).

С. А. Чувев – кандидат биологических наук, доцент кафедры производства и переработки сельскохозяйственной продукции технологического факультета ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ.

И. А. Коцаев – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры производства и переработки сельскохозяйственной продукции технологического факультета ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ.

К. В. Лавриненко – преподаватель кафедры производства и переработки сельскохозяйственной продукции технологического факультета ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ.

REFERENCES

1. Napalyuk, A.V. The role of biofactors in the human body and their clinical significance: vitamin B₁ / A.V. Napalyuk // Medical business: scientific and prac-

tical therapeutic journal. 2022. № 2(81). Pp. 9-15. EDN YBNNZR (In Russian).

2. Soldatova, S.Yu. Comparative assessment of the quality and safety of canned meat and meat products from different manufacturers in polymer packaging materials / S.Yu. Soldatova, K.B. Guryeva // Innovative technologies of production and storage of material values for state needs. 2021. No. 15. pp. 164-175. EDN KYYDFM (In Russian).

3. Pylaev, V.E. Organoleptic research of canned meat / V.E. Pylaev, S.G. Saiko // Youth and science. 2022. № 3. EDN YJOPAY (In Russian).

4. Karaeva, L.V. Application of the principles of the HACCP system in the production of meat-growing containers / L.V. Karaeva // Scientific works of students of the Gorsky State Agrarian University «Student science - agro-industrial complex»: Scientific works of students of the Gorsky State Agrarian University, Vladikavkaz, April 04-05, 2019. Volume 56/3. Vladikavkaz : Gorsky State Agrarian University, 2019. pp. 344-347. EDN SCORTU (In Russian).

5. Kolosova, P.I. Sanitary and microbiological bases and analysis of the causes of spoilage in the production of canned meat and meat products / P.I. Kolosova // The future of science 2020: Collection of scientific articles of the 8th International Youth Scientific Conference, in 5 volumes, Kursk, April 21-22, 2020 / Responsible editor Gorokhov A.A. Volume 4. Kursk : Southwest State University, 2020. pp. 23-25. EDN P XKUGE (In Russian).

6. Mamiev, K.B. Evaluation of the quality of canned meat / K.B. Mamiev // Bulletin of scientific works of young scientists, postgraduates, undergraduates and students of the Gorsky State Agrarian University. Volume 55. Part III. Vladikavkaz : Gorsky State Agrarian University, 2018. pp. 322-324. EDN JEAJDS (In Russian).

7. Development of a recipe composition for canned meat and vegetables based on chicken meat with a legume component / A.A. Ryadinskaya, S.A. Chuev, N.B. Ordina [et al.] // Improving Energy Efficiency, Environmental Safety and Sustainable Development in Agriculture : International Scientific and Practical Conference, Saratov, 20-24 октября 2021 года. London: IOP Publishing Ltd, 2022. P. 012038. DOI : 10.1088/1755-1315/979/1/012038. EDN UDEHVF.

8. Ryadinskaya, A.A. Prospects for the use of powders from fruit and vegetable and berry products of local production / A.A. Ryadinskaya, A.A. Atroshenko // Achievements and prospects in the field of production and processing of agricultural products : Materials of the III National Scientific and Practical conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of V.Ya. Gorin, Maysky, November 25, 2022. Maysky : Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin, 2022. pp. 262-263. EDN XVBUAB (In Russian).

9. Organic trace elements - the balance of productivity of pigs on fattening and meat buildup / N.P. Shevchenko, G.S. Pokhodnya, A.I. Shevchenko [et al.] // Topical issues of agricultural biology. 2022. № 4(26). Pp. 95-104. EDN PAGXQL (In Russian).

10. Zykova, A.V. Development of the recipe and technology of canned meat for people working in military field conditions / A.V. Zykova // Student Science - a Look into the future: Materials of the XVII All-Russian Student Scientific Conference, Krasnoyarsk, March 16-18, 2022. Volume Part 1. Krasnoyarsk : Krasnoyarsk State Agrarian University, 2022. pp. 502-504. EDN FMSKXI (In Russian).

11. Zykova, A.V. Development of the formulation and technology of canned meat for people working in military field conditions / A.V. Zykova, A.M. Patieva // Scientific support of the agro-industrial complex: A collection of articles based on the materials of the 77th scientific and practical conference of students based on the results Research for 2021. In 3 parts, Krasnodar, March 01, 2022 / Rel. for the release of A.G. Koshchaev. Volume Part 1. Krasnodar: Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, 2022. pp. 824-825. EDN OSSSFS (In Russian).

12. Chizhikova, O.G. Development of composite flour mixtures using crushed lentil seeds / O.G. Chizhikova, L.O. Korshenko, M.A. Pavlova // Technique and technology of food production. 2017. № 3(46). Pp. 89-95. EDN ZIWNID (In Russian).

13. Dolgosheva, E.V. The influence of lentils on the quality of rolls baked from chicken fillet / E.V. Dolgosheva // Modern aspects of production and processing of agricultural products : A collection of materials of the II International Scientific and Practical Conference dedicated to the 80th anniversary of the Altai State Agrarian University and the Faculty of Biology and Technology, Barnaul, April 21, 2023. Barnaul: Altai State Agrarian University, 2023. pp. 43-48. EDN CNRINM (In Russian).

14. Dolgosheva, E.V. The influence of various cereals on the quality of poultry meat rolls / E.V. Dol-

gosheva, T.N. Romanova, L.A. Korosteleva // Biotechnological methods of production and processing of agricultural products: materials of the All-Russian (national) scientific and practical conference, Kursk, February 08, 2021. Volume Part 2. Kursk : Kursk State Agricultural Academy named after I.I. Ivanov. 2021. pp. 90-94 (In Russian).

15. Nutritional value of flour from leguminous crops / A.M. Omaralieva, M.Zh. Sultanova, M.E. Kizatova, A.Yu. Borovsky // Bulletin of the Almaty Technological University. 2018. No. 4. pp. 12-18. EDN GJZQBP (In Russian).

Information about the authors

A. A. Ryadinskaya - Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Production and Processing of Agricultural Products of the Technological Faculty of the Belgorod State Agrarian University (e-mail: antonina.yurchenko.63@mail.ru).

S. A. Chuev - Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Production and Processing of Agricultural Products of the Technological Faculty of the Belgorod State Agrarian University.

I. A. Koshchaev - Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Production and Processing of Agricultural Products of the Faculty of Technology of the Belgorod State Agrarian University.

K. V. Lavrinenko - lecturer of the Department of Production and Processing of Agricultural Products of the Technological Faculty of the Belgorod State Agrarian University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 17 мая 2023; одобрена после рецензирования 18 сентября 2023; принята к публикации 20 ноября 2023.

The article was received by the editorial board on 17 May 2023; approved after editing on 18 Sep 2023; accepted for publication on 20 Nov 2023.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК665.35

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.011

 EDN: FWHVTL

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ РАФИНАЦИОННОЙ ОЧИСТКИ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ С ПОЭТАПНЫМ ВНЕСЕНИЕМ БЕНТОНИТОВОЙ ГЛИНЫ И АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ

Виталий Николаевич Василенко¹, Максим Васильевич Копылов²,
Александр Николаевич Остриков³, Анастасия Викторовна Терёхина⁴

^{1, 2, 3, 4} ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», Воронеж, Россия

¹ vvn_1977@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1547-9814>

² ostrikov27@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2335-0017>

³ kopylov-maks@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2678-2613>

⁴ gorbatova.nastia@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4433-9615>

Аннотация. Был изучен процесс комбинированной рафинационной очистки растительных масел, позволяющий удалять из растительных масел красящие и одоризирующие вещества, за счет двухступенчатой рециркуляционной очистки с поэтапным внесением адсорбентов: бентонитовой глины Майдан-Бентонитового месторождения, расположенного в Кантемировском районе Воронежской области, и активированного угля (кокс-орешка). Установлено, что активность бентонитов существенно выше, чем активность диатомита после сушки и измельчения в дезинтеграторе. Исследованы пористые структуры бентонита и угля с помощью растрового электронного микроскопа. Определено влияние гранулометрического состава адсорбентов, характеризующихся степенью дисперсности, на его маслосмолемкость и фильтрационные характеристики. Выявлено, что обработка растительного масла бентонитовой глиной и углем позволяет отбелить растительное масло со степенью очистки выше, чем у промышленного, при этом у масла полностью отсутствовал какой-либо запах. Инструментальная оценка запаха рафинированных образцов масел на анализаторе запахов «МАГ-8» с методологией «электронный нос» выявила максимальное удаление летучих соединений сорбентом, состоящим из 0,5 % бентонита и 0,5 % угля к общей массе масла.

Ключевые слова: рафинация, очистка, растительные масла, адсорбенты.

Для цитирования: Василенко В. Н., Копылов М. В., Остриков А. Н., Терёхина А. В. Разработка технологии двухступенчатой рафинационной очистки растительных масел с поэтапным внесением бентонитовой глины и активированного угля // Ползуновский вестник. 2023. № 4, С. 85–93. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.011. EDN: <https://elibrary.ru/FWHVTL>.

Original article

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR TWO-STAGE REFINING PURIFICATION OF VEGETABLE OILS WITH STEP-BY-STEP INTRODUCTION OF BENTONITE CLAY AND ACTIVATED CARBON

Vitaliy N. Vasilenko¹, Maxim V. Kopylov²,
Alexander N. Ostrikov³, Anastasiya V. Terekhina⁴

^{1, 2, 3, 4} Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia

¹ vvn_1977@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1547-9814>

© Василенко В. Н., Копылов М. В., Остриков А. Н., Терёхина А. В., 2023

² ostrikov27@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2335-0017>

³ kopylov-maks@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2678-2613>

⁴ gorbatova.nastia@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4433-9615>

Abstract. *The process of vegetable oils combined refining, which makes it possible to remove coloring and odorizing substances from vegetable oils, due to a two-stage recirculation purification with the gradual introduction of adsorbents: bentonite clay from the Maidan-Bentonite deposit located in the Kantemirovskiy district of the Voronezh region, and activated carbon (coke nut), was studied. It has been established that the activity of bentonites is significantly higher than the activity of diatomite after drying and grinding in a disintegrator. The porous structures of bentonite and carbon were studied using a scanning electron microscope. The influence of the granulometric composition of adsorbents, characterized by the dispersion degree, on its oil absorption and filtration characteristics is determined. It was found that the treatment of vegetable oil with bentonite clay and carbon makes it possible to bleach vegetable oil to a clarity level higher than that of industrial oil, while the oil completely lacked any odor. An instrumental assessment of the smell of refined oil samples on the MAG-8 odor analyzer with the “electronic nose” methodology revealed the maximum removal of volatile compounds by a sorbent consisting of 0.5% bentonite and 0.5% carbon to the total oil mass.*

Keywords: *refining, purification, vegetable oils, adsorbents.*

For citation: Vasilenko, V. N., Kopylov, M. V., Ostrikov, A. N., Terekhina, A. V. (2023). Development of technology for two-stage refining purification of vegetable oils with step-by-step introduction of bentonite clay and activated carbon. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 85-93. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.011. EDN: <https://elibrary.ru/FWHVTL>.

ВВЕДЕНИЕ

Авторским коллективом установлено [1], что рафинация подсолнечных масел по традиционным технологическим режимам не обеспечивает заданных потребительских свойств получаемых продуктов, а также определяет высокий уровень отходов и потерь. Переработка растительного масла, произведенного из семян различных климатических зон и по различным технологиям, создают проблемы, обусловленные повышенной устойчивостью липидов (фосфолипиды, гликолипиды, неомыляемые липиды, углеводороды, воски, пигменты, стеролы, стериды, спирты, токоферолы и т.д.). Неочищенные растительные масла содержат липиды сложного состава (в т. ч. фосфорсодержащие), воски, красящие вещества, свободные жирные кислоты, высокомолекулярные спирты и др., а также продукты окисления глицеридов: низкомолекулярные жирные кислоты, кетоны, альдегиды, оксикислоты и т. д. (изменяющиеся в процессе хранения и извлечения масла, а также образующиеся из различных веществ под воздействием внешних факторов). В процессе рафинационной очистки растительных масел происходит выделение из природных масел и жиров триацилглицеринов, свободных от других групп липидов и примесей [2, 3]. Эти вещества имеют различную полярность и растворимость, поэтому в триацилглицеринах они образуют истинные или коллоидные растворы различной стабильности [4, 5].

Выбор метода рафинации зависит от состава и количества примесей, их свойств и назначения масла.

Mounst [3] исследовал обработку растительных масел как химическими, так и физическими методами рафинирования.

Rich [6] и др. установили, что традиционные химические методы состоят из стадий кислотной дегуммации, щелочной очистки, отбеливания, дезодорации и утепления.

Исследования кинетики отбеливания растительных масел, проведенные Таксиарчу и Дуни [7], показали, что каталитический эффект отбеливающей земли вызывает длительное хемосорбирование β -каротина. Поскольку это разложение вызывает изменение цвета с белого на серо-голубой, отбеливающую способность удобнее измерять по адсорбции хлорофилла, а не β -каротина.

Котова Е. М. [4], рассматривая разработку эффективных приемов адсорбционной рафинации с использованием новых высокоэффективных адсорбентов, определила критерии выбора наиболее эффективных адсорбентов для процесса отбелики масел и жиров. В частности, ею разработана научно-обоснованная методика для расчета необходимого количества адсорбента для достижения заданной степени отбелики с позиции теории специфичности адсорбции и определена основополагающая характеристика процесса отбеливания – изотерма адсорбции, что позволило иллюстрировать правильность выбора адсорбента для данного масла и рассчитать необходимые технологические параметры процесса.

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 4 2023

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ РАФИНАЦИОННОЙ ОЧИСТКИ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ С ПОЭТАПНЫМ ВНЕСЕНИЕМ БЕНТОНИТОВОЙ ГЛИНЫ И АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ

В работе [2] предложена технология адсорбентов на основе диатомита и бентонита месторождений Ростовской области для очистки подсолнечного масла. Впервые доказана возможность получения на основе диатомита Мальчевского и бентонита Тарасовского месторождений адсорбентов для очистки подсолнечного масла. Определены закономерности изменения состава, физико-химических и адсорбционных свойств диатомита и бентонита в зависимости от метода и условий модифицирования. Установлена эффективность кислотного модифицирования для получения адсорбентов на основе диатомита и бентонита. Получены данные о влиянии технологических параметров на процесс очистки подсолнечного масла контактным способом с использованием разработанных адсорбентов.

Алванян К. А. [8], изучая характер изменения физико-химических свойств бентонитовой глины, установила закономерность изменения гранулометрического состава бентонитовой глины под воздействием давления. Она дала оценку формирования дефектности структурных элементов бентонитовой глины, обработанной давлением, и исследовала формирование адсорбционной способности бентонитовой глины, обработанной давлением, в зависимости от состава и структуры.

Стрыженко А. А. [5] на основании изучения химического состава и структуры различных адсорбентов теоретически обосновала и экспериментально доказала, что диатомит Инзенского месторождения может быть использован в качестве сырья для производства отбельных земель, применяемых при адсорбционной рафинации растительных масел. Она установила, что обработка предварительно измельченного и высушенного диатомита серной кислотой при установленных режимах позволяет повысить его адсорбционную активность в 3 раза. Ею была выявлена зависимость скорости фильтрации и маслосъемности от гранулометрического состава диатомитовой отбельной земли.

МЕТОДЫ

Исследование процесса комбинированной рафинации растительных масел с поэтапным внесением адсорбентов проводили на экспериментальной установке, позволяющей удалять из растительных масел красящие и одорирующие вещества и достигать требуемой степени отбеливания растительных масел по цветному числу.

В качестве адсорбента использовались бентонитовые глины Майдан-Бентонитового

месторождения, расположенного в Кантемировском районе Воронежской области (п. Охрового завода). Также было установлено, что кроме бентонитовых глин, хорошим адсорбентом являются древесный активированный уголь. Анализируя структуру углей различного происхождения, было установлено, что кокс-орешек содержит поры с эффективным радиусом 7–200 нм. Были взяты образцы кокс-орешка с ОАО «Алтай-Кокс» (Камышенское месторождение) и ООО «Разрез Пермьяковский» (Караканское каменноугольное месторождение).

Большая часть подсолнечных масел подвергается переработке методом «физической» рафинации с дистилляционным удалением свободных жирных кислот. В связи с этим в качестве модельных образцов для проведения отбелики использовали масла после стадии первичного прессования (форпрессования), выработанные из производственной смеси семян подсолнечника различных сортов на ГК «ЭФКО» («Слобода») и на ООО «ЮГ Руси» («Золотая семечка»). Физико-химические показатели масел приведены в таблице 1.

Добываемый в карьере открытым способом диатомит имеет влажность 25–30 % и представляет собой уплотненную комкообразную массу. Для получения сыпучего порошкообразного продукта диатомит подвергают сушке до влажности 5–15 % и последующему измельчению в дезинтеграторе.

Для оценки адсорбционной активности высушенного и измельченного диатомита проводили отбелику подсолнечного масла. Для сравнения проводили лабораторную отбелику с использованием бентонитовых глин при таких же условиях.

Активность адсорбента A определяли по уравнению:

$$A = [(C_{\text{нач}} - C_{\text{кон}}) / C_{\text{нач}}] \times 100, \%$$

где $C_{\text{нач}}$ – цветность масла до отбелики, $C_{\text{кон}}$ – цветность масла после отбелики.

Бентониты представляют собой глинистые минералы (рис. 1), а угли (ООО «Разрез Пермьяковский» – рис. 2) и (ОАО «Алтай-Кокс» – рис. 3) представляют собой органическое вещество, подвергшееся медленному разложению под действием биологических и геологических процессов.

Исследование структуры бентонита и угля проводили с помощью растрового электронного микроскопа JSM-6380LV JEOL с системой микроанализа INCA 250 (рис. 3) в ЦКП ФГБОУ ВО «ВГУ».

Инструментальная оценка запаха масла проведена на лабораторном анализаторе

запахов «МАГ-8» и его модификациях с методологией «электронный нос» (Россия) [9].

Пробы объемом 10,0 мл помещали на стеклянный носитель, выдерживали при комнатной температуре (20 ± 1 °С) не более 30 с и вносили в ячейку прибора. Фиксировали сигналы сенсоров в течение 200 с. Исследования повторяли в течение 4 дней в рандомной последовательности. Результаты усредняли. Применяли 3 варианта обработки сигналов сенсоров для того, чтобы максимально зафиксировать все летучие соединения в пробах. Оптимальный алгоритм представления откликов – по максимальным откликам отдельных сенсоров и с учетом кинетических особенностей сорбции (кинетические «визуальные отпечатки»). Погрешность измерения – 10 %. Отклики сенсоров зафиксированы, обработаны и сопоставлены в программном обеспечении анализатора «MAG Soft». Органолептические испытания запаха проведены дважды в разные дни тремя обученными сотрудниками лаборатории [10].

Первичный анализ масел проводили по стандартной методике путем отбора запаха (воздуха над маслом) и вкалывания в закрытую ячейку детектирования с 8-ью различными сенсорами. По такой методике различить пробы всех масел не удалось. Необходимо изменить и методику подачи летучих соединений к сенсорам и массив сенсоров.

На втором этапе заменены все сенсоры (массив 2) с высокочувствительными наноструктурированными фазами. Летучие соединения не отбирали, а непосредственно подносили пробы масел к открытой ячейке (имитация носа человека). Сигналы сенсоров низкие и малоинформативные.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты проведенных экспериментов показали, что активность бентонитов существенно выше, чем активность диатомита после сушки и измельчения в дезинтеграторе, которая составила 20 %, что недостаточно для эффективного проведения процесса отбелики.

Анализ структуры бентонита и угля по полученным фотографиям на микроскопе показал, что структура бентонита имеет пористую структуру, что отчетливо видно на рис. 1, а. Пористость структуры угля, полученного с ООО «Разрез Пермьяковский»), слабо выражена (рис. 2, в, е), что может говорить о произошедшем спекании угольной породы. На рис. 3, б, г отчетливо прослеживается сильно развитая пористая структура, что положительно сказывается на адсорбционных характеристиках данного вида угля.

Активность адсорбента определяется площадью поверхности адсорбции и количеством активных центров, находящихся на ней. Известно, что более 90 % поверхности адсорбции находится в порах, а, следовательно, гранулометрический состав, определяющий наружный размер частиц, не оказывает существенного влияния на активность адсорбента. В связи с этим, адсорбенты, используемые для отбелики растительных масел, должны иметь низкую маслосъемность (до 25 %), а осадок адсорбента должен иметь хорошие дренажные свойства для обеспечения высокой скорости фильтрации (не менее $0,4$ (мл·см²) / мин).

Известно [5], что маслосъемность и дренажные свойства осадка во многом определяются его гранулометрическим составом, характеристика которого обусловлена режимами измельчения природного бентонита. В связи с этим, изучали влияние гранулометрического состава адсорбента, характеризуемого степенью дисперсности, на его маслосъемность и фильтрационные характеристики. Разделение бентонитовых глин на фракции осуществлялся при помощи набора сит с размером ячеек 25 мкм, 50 мкм, 100 мкм, 200 мкм, 750 мкм.

Как показали исследования, обработка растительного масла бентонитовой глиной позволяет отбелить растительное масло со степенью очистки выше, чем у промышленного. При очистке бентонитовой глиной у масла появляется землянистый запах. Очистка масла углем с бентонитом показала степень очистки, равную промышленной очистке, при этом у масла полностью отсутствовал какой-либо запах [1].

Дренажные свойства осадка оценивали по объему масла, прошедшему при фильтровании через определенную поверхность слоя осадка высотой 1 мм за единицу времени. Маслосъемность адсорбента оценивали по методике, рекомендованной ВНИИЖ.

Степень дисперсности D рассчитывали по формуле:

$$D = 1/a,$$

где a – средний размер частиц, с определяемый по интегральной кривой распределения частиц по размерам.

Для оценки влияния гранулометрического состава адсорбентов проводили исследования степени дисперсности на маслосъемность и скорость фильтрации. Адсорбент измельчали с использованием молотковой мельницы (где получали фракции менее 2,5 мм), а затем производили дополнительное измельчение на лабораторной мельнице ВЬЮГА-3М.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ РАФИНАЦИОННОЙ ОЧИСТКИ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ С ПОЭТАПНЫМ ВНЕСЕНИЕМ БЕНТОНИТОВОЙ ГЛИНЫ И АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ

Степень дисперсности получаемых адсорбентов (угля и бентонитовой глины) при различной интенсивности помола представлена на рисунке 4.

Маслоемкость традиционно используемых бентонитовых отбелных земель составляет 20–24 %, при этом для лучших образцов отбелных земель этот показатель не превышает 22 %. Скорость фильтрации масла через слой осадка бентонитовых отбелных земель в лабораторных условиях составила 0,4 (мл·см²)/мин. В связи с этим были установлены следующие требования к характеристикам адсорбента: маслоемкость не более 22 % и

скорость фильтрации – не менее 0,4 (мл·см²)/мин. Для каждого из образцов измеряли скорость фильтрации и маслоемкость. Результаты исследований приведены на рисунке 5, из которого видно, что требуемая скорость фильтрации и требуемая маслоемкость обеспечивается при использовании адсорбента, характеризуемого степенью дисперсности 1000 см⁻¹.

Методом лазерной дифракции был исследован гранулометрический состав измельченного до требуемой степени дисперсности (1000 см⁻¹) образца бентонитовой глины и активированного угля [1].

Таблица 1 – Физико-химические показатели качества подсолнечного масла

Table 1 – Physico-chemical indicators of sunflower oil quality

Наименование показателя	Значение показателя
Цветность, ед. J ₂	10–15
Массовая доля хлорофиллов, ppm	0,15–0,18
Кислотное число, мг КОН/г	1,0–2,0
Перекисное число, ммоль активного кислорода/кг	3,0–3,7
Массовая доля мыла, %	Менее 0,001

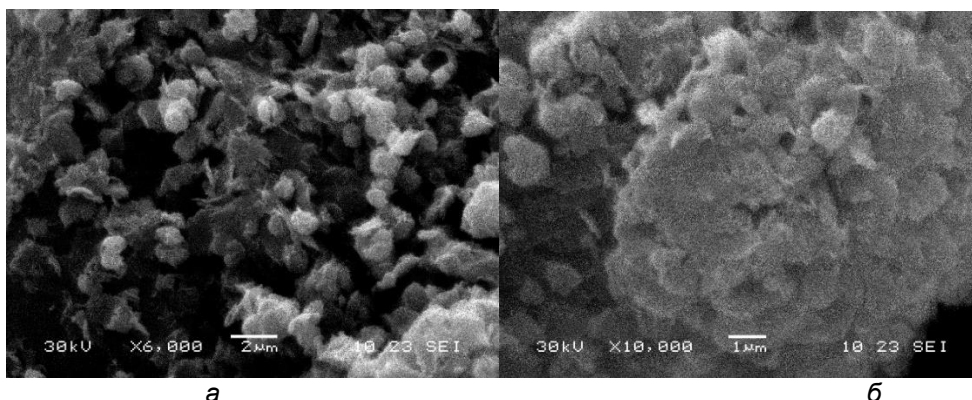


Рисунок 1 – Бентонит под микроскопом с различной степенью увеличения (АО «Журавский охровый завод»): а – ×6000; б – ×10000

Figure 1 – Bentonite under a microscope with varying degrees of magnification (JSC "Zhuravsky ochre Plant"): a – ×6000; b – ×10000

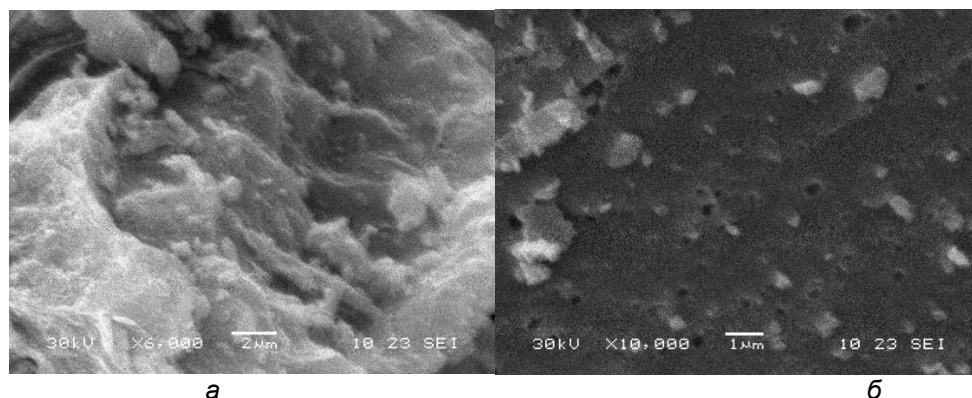
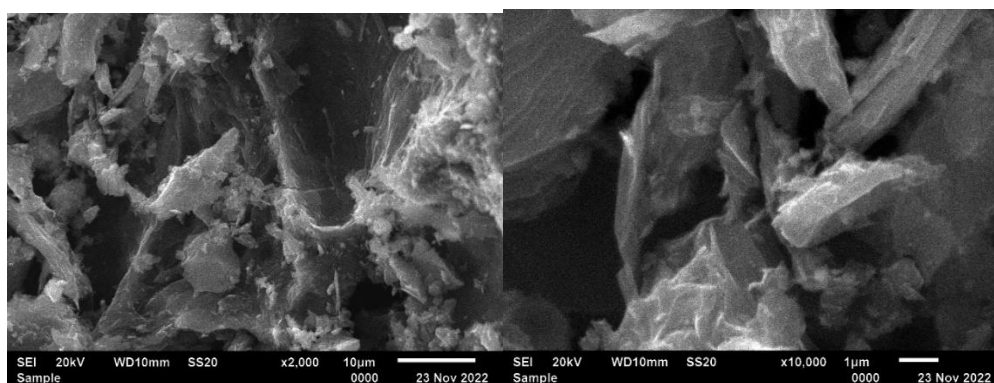


Рисунок 2 – Уголь под микроскопом с различной степенью увеличения (ООО «Разрез Пермьяковский»): а – ×6000; б – ×10000

Figure 2 – Coal under a microscope with varying degrees of magnification (LLC "Permyakovsky Section"): a – ×6000; b – ×10000



а

б

Рисунок 3 – Уголь под микроскопом с различной степенью увеличения (ОАО «Алтай-Кокс»): а – $\times 2000$; б – $\times 10000$

Figure 3 – Coal under a microscope with varying degrees of magnification (JSC "Altai-Coke"): a – $\times 2000$; b – $\times 10000$

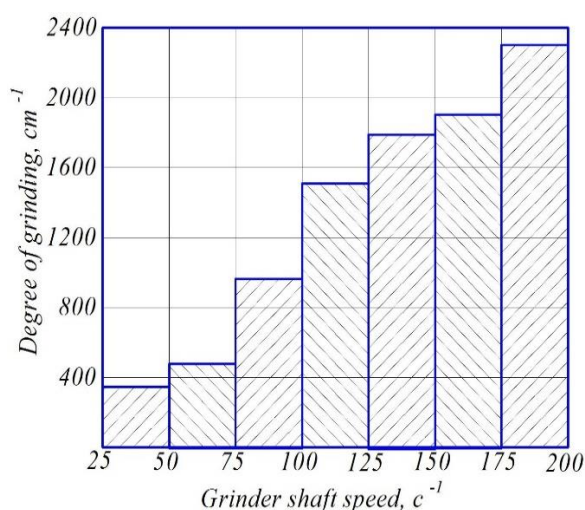


Рисунок 4 – Степень измельчения D при частоте вращения вала измельчителя (мельница «Вьюга-3М»)

Figure 4 – The degree of grinding D at the speed of rotation of the chopper shaft (shoal "Blizzard-3M")

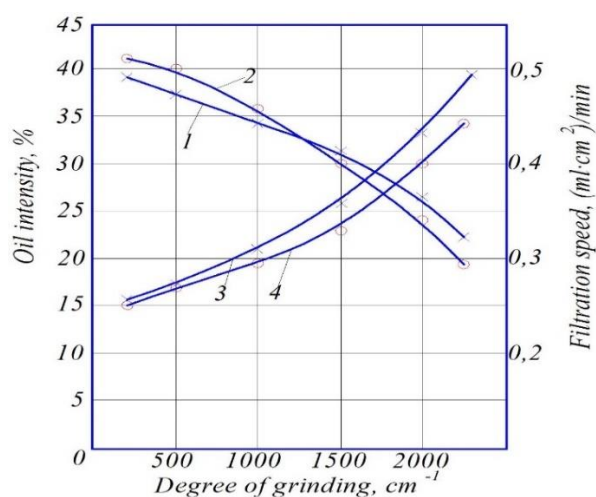


Рисунок 5 – Влияние степени измельчения адсорбента на маслоспособность (1 – глина, 2 – уголь) и скорость фильтрации (3 – глина, 4 – уголь)

Figure 5 – The effect of the degree of grinding of the adsorbent on the oil capacity (1 – clay, 2 – coal) and filtration rate (3 – clay, 4 – coal)

Таблица 2 – Значения суммарных сигналов электронного носа в разные дни по разным алгоритмам расчета и органолептическая оценка запаха проб (обоняние)

Table 2 – Values of the total signals of the electronic nose on different days according to different calculation algorithms and organoleptic evaluation of the smell of samples (olfaction)

Пробы	S_{max} , Гц ²			$S_{кин.}$ (без 3-х сенсоров), Гц.с			S_{Σ} (полная), Гц.с			Органолептика
	23.12	26.12	27.12	23.12	26.12	27.12	23.12	26.12	27.12	
Проба 1	21,2	34,3	33,6	1,8	9,5	36,8	42,0	116,0	220,7	3
Проба 2	17,7	17,0	11,3	3,1	14,2	2,42	56,3	25,8	40,4	1
Проба 3	28,3	33,6	27,6	24,9	23,9	30	59,8	93,6	20,6	3
Проба 4	38,9	43,1	19,5	14,6	32,8	12,1	101,7	127,4	240,3	5 иной
Проба 5	23,0	33,2	15,9	14,2	11,2	2,8	50,9	391,8	312,6	1
Проба 6	64,4	75,3	83,1	73,8	87,8	91,7	113,2	265	165	4
Проба 7	115,6	41,7	44,6	155,4	34,6	55,5	290,1	80,9	203,6	2
Проба 8	84,2	178,2	60,1	86,8	222,8	65,6	145,8	416	170,7	2
Проба 9	71,4	154,9	86,6	84,1	178,1	74,5	106,5	477,1	201,0	5

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ РАФИНАЦИОННОЙ ОЧИСТКИ
РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ С ПОЭТАПНЫМ ВНЕСЕНИЕМ БЕНТОНИТОВОЙ
ГЛИНЫ И АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ

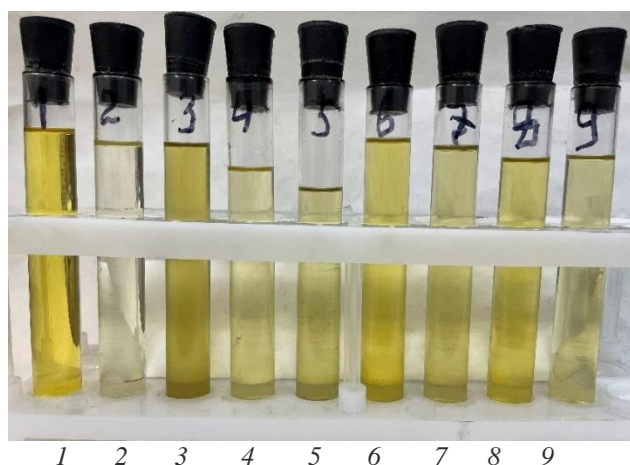


Рисунок 6 – Образцы подсолнечных масел: 1 – исходный нерафинированный (промышленный), 2 – исходный рафинированный (промышленный), 3 – очищенный с добавлением 1 % угля, 4 – очищенный с добавлением 1 % бентонит, 5 – очищенный с добавлением 0,5 % бентонита и 0,5 % угля, 6 – очищенный с добавлением 0,6 % бентонита и 0,4 % угля, 7 – очищенный с добавлением 0,7 % бентонита и 0,3 % угля, 8 – очищенный с добавлением 0,8 % бентонита и 0,2 % угля, 9 – очищенный с добавлением 0,9 % бентонита и 0,1 % угля

Figure 6 – Sunflower oil samples: 1 – raw unrefined (industrial), 2 – raw refined (industrial), 3 – purified with the addition of 1 % coal, 4 – purified with the addition of 1 % bentonite, 5 – purified with the addition of 0.5% bentonite and 0.5 % coal, 6 – purified with the addition of 0.6 % bentonite and 0.4 % coal, 7 – purified with the addition of 0.7 % bentonite and 0.3 % coal, 8 – purified with the addition of 0.8 % bentonite and 0.2 % coal, 9 – purified with the addition of 0.9 % bentonite and 0.1 % coal

В ходе экспериментальных исследований на установке для комбинированной очистки растительных масел были получены образцы растительных масел с различной степенью воздействия на них адсорбирующими материалами (рис. 6).

Пробы с минимальным содержанием летучих соединений из пяти изученных – 2 и 4. Далее – 5, 3. Наиболее интенсивно пахнущая – 1. Такое распределение соответствует первичному описанию, определенному органолептически. Но при повторении эксперимента получить надежные результаты не удастся. Сенсоры требуют длительного восстановления после каждого измерения. Из-за низкой воспроизводимости (повторяемости) сигналов сенсоры заменены полностью на полимерные (массив 3).

Установлено, что так же, как и в предыдущих экспериментах, минимальные сигналы сенсоров характерны для пробы 2, 5. При выдерживании на воздухе практически исчезает запах пробы 3. Наибольшие сигналы характерны для проб 8, 6 (близкий состав), максимальный – для пробы 9.

По результатам трех дней установлено, что пробы 6, 8, 9 имеют отличительный состав от проб 2, 5, 3. Этот результат воспроизводится на разных массивах и при разной методике измерений.

Закономерности распределения проб

относительно друг друга с минимальным и максимальным содержанием разных по природе веществ воспроизводится на всех массивах и при разных методиках измерений.

Для повышения надежности трактования результатов и сделанных выводов рассчитаем в программном обеспечении интегральные сигналы массива сенсоров по всем без исключения сигналам сенсоров в процессе измерения, а не только наибольших.

Для установления различий в составе и содержании летучих соединений в пробах сравним величины количественного интегрального аналитического сигнала «электронного носа» – площади «визуального отпечатка» откликов сенсоров по трем алгоритмам (табл. 2).

Проанализируем полученные данные для выбора наиболее устойчивого набора данных, учитывая, что результаты измерения для пробы 2 должны быть устойчивым стандартом (ориентир на промышленное масло) – таблица 2.

При первичной органолептической оценке для проб 2, 5 отмечена минимальная оценка неприятного и какого-либо запаха, что соответствует «Эталону», так и совпадает с первично полученными данными электронного носа, по которым проба 5 также имеет малое содержание летучих соединений. Пробы 7 и 8 оцениваются дегустаторами незначительно хуже, при

этом сенсоры электронного носа классифицируют и относят их в совершенно иную группу. Это может объясняться изменением химического состава запаха в результате очистки, при котором запах обогащается более легкими, но резко пахнущими соединениями. Максимально неприятный запах выделен дегустаторами для проб 6 и 9. Проба 4 оценивается дегустаторами как имеющая сильный, но другой, чем остальные пробы запах.

Установлено, что 3 и 4 пробы в равной степени часто встречаются в рядах относительно пробы 2. То есть оба сорбента эффективны, но удерживают летучие соединения по-разному (разные соединения). Из-за сложности образцов не представляется возможным идентифицировать микропримеси из-за низких сигналов сенсоров и нестабильности запаха этих проб. Наиболее эффективно приближает пробы к стандарту состав 5 (0,5 бентонитовой глины + 0,5 % угля).

Установлено, что масла – сложные образцы для органолептической оценки, данные плохо воспроизводятся дегустаторами. Однако пробы 4 и 6 устойчиво отмечены как максимально неприятно пахнущие. Пробы 7, 5, 3, 2 вызывают минимальное раздражение у дегустаторов. Пробы 9, 8 – неустойчивые для оценки. Установлена корреляция распределения проб по запаху человеческим и электронным обонянием для проб с минимальным содержанием веществ 2, 5 и максимальным – 6, 9. Так же, как и у дегустаторов, состав летучих соединений масел сильно меняется при выдержке на воздухе в открытом состоянии. Значит, пробы 4, 6, 9 содержат легко летучие примеси, которые попадают в пробы масла в процессе обработки.

По этой методике также можно выделить пробы с максимально большим и близким составом запаха 6, 8 и 9. Пробы 7 и 1 также объединяются повторно в одну группу. Минимальное содержание веществ в группах 2, 3, 4, 5.

По совокупности всех экспериментов из всех сорбентов максимально удаляет летучие соединения сорбент 5.

ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнительный анализ представленных данных позволяет сделать вывод о том, что образец отбеленной глины отличается большим содержанием мелкодисперсной фракции. Процесс отделения отбеленной земли от масла осуществляется фильтрованием при постоянном увеличении высоты слоя осадка. При этом наличие мелкодисперсной фракции адсорбента может существенно ухудшить дренажные свойства осадка и скорость фильтро-

вания. Поскольку процесс фильтрования осуществляется циклически, это может привести к уменьшению времени одного цикла и уменьшенному объему фильтрата за один цикл.

Количественные оценки электронным носом рассчитаны в программе прибора и по смыслу пропорциональны количеству соединений, которые выделяются из проб и фиксируются сенсорами. При этом возможно выделить разные участки на выходных кривых и соответственно некоторые группы соединений – быстро летящих и быстро салящихся на сенсоры, и напротив – тяжелые вещества, которые долго держатся на сорбентах сенсора. Эти группы выделяются отдельными расчетными алгоритмами, которые выражаются числом. Как бы ни проводился расчет, пробы с большим содержанием веществ будут иметь большие числа для суммарных сигналов электронного носа (идентично дегустационной оценке).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования структуры отбеленной глины (ООО «Рамонь-Кварц») и угля (ОАО «Алтай-Кокс») показали, что они имеют сильно развитую пористую структуру, что положительно сказывается на их адсорбционных характеристиках. Определено влияние гранулометрического состава адсорбентов, характеризуемых степенью дисперсности, на его маслосъемность и фильтрационные характеристики.

Выявлено, что двухступенчатая рафинированная очистка растительных масел с поэтапным внесением адсорбентов: бентонитовой глины Майдан-Бентонитового месторождения (Воронежская область) и активированным углем (кокс-орешком) позволяет практически полностью удалять из масел красящие и одорирующие вещества.

Инструментальная оценка запаха рафинированных образцов масел на анализаторе запахов «МАГ-8» с методологией «электронный нос» выявила максимальное удаление летучих соединений сорбентом, состоящим из 0,5 % бентонита и 0,5 % угля к общей массе масла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kleymenova N.L., Bolgova I.N., Kopylov M.V., Nazina L.I. Clarification of sunflower oil with nanocarbon sorbent and analysis of product quality indicators. IOP Conference Series : Earth and Environmental Science, 2021, 659(1), № 012–124. doi: 10.1088/1755-1315/659/1/012124.
2. Пономарев В.В. Технология адсорбентов для очистки растительных масел на основе диатомита и бентонита Ростовской области : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.17.01 / Пономарев Владимир Владимирович. Новочеркасск, 2011. 16 с.
3. Mounts T.L. Chemical and physical effects of processing fats and oils. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1981, 58, 51A–54A.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ РАФИНАЦИОННОЙ ОЧИСТКИ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ С ПОЭТАПНЫМ ВНЕСЕНИЕМ БЕНТОНИТОВОЙ ГЛИНЫ И АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ

4. Котова Е.М. Разработка эффективных приемов адсорбционной рафинации растительных масел : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.06. Москва, 2008. 25 с.

5. Сtryженко А.А. Совершенствование технологии адсорбционной рафинации растительных масел : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.06 / Сtryженко Альбина Анатольевна. Краснодар, 2015. 24 с.

6. Rich A.D. Some basic factors in the bleaching of fatty oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 1964, 41, 315–321.

7. Taxiarchou M. & Douni I. The effect of oxalic acid activation on the bleaching properties of a bentonite from Milos Island, Greece. *Clay Minerals*, 2014, 49, 541–549. doi: 10.1180/claymin. 2014.049.4.04.

8. Алванян К.А. Закономерности изменения физико-химических свойств бентонитовой глины, обработанной высоким давлением : автореф. дис. ... канд. геолого-минералогических наук : 25.00.08, Алванян Карине Антоновна. Пермь, 2021. 25 с.

9. Kuchmenko T.A. Electronic nose based on nanoweights, expectation and reality // *Pure and Applied Chemistry*, 2016, Volume 89, Issue 10, Pages 1587–1601.

10. Kuchmenko T.A., Lvova L.B. A Perspective on Recent Advances in Piezoelectric Chemical Sensors for Environmental Monitoring and Foodstuffs Analysis // *Chemosensors*, 2019, Volume 7, Issue 3, p. 39–45. doi: 10.3390/chemosensors7030039.

Информация об авторах

В. Н. Василенко – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Машины и аппараты пищевых производств» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий».

М. В. Копылов – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии жиров процессов и аппаратов химических и пищевых производств» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий».

А. Н. Остриков – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Технологии жиров процессов и аппаратов химических и пищевых производств» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий».

А. В. Терёхина – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии жиров процессов и аппаратов химических и пищевых производств» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий».

REFERENCES

1. Kleimenova, N.L., Bolgova, I.N., Kopylov, M.V., Nazina, L.I. (2021). Clarification of sunflower oil with a nanocarbon sorbent and analysis of product quality indicators. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 659(1), № 012-124. (In Russ.) doi: 10.1088/1755-1315/659/1/012124.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.*

Статья поступила в редакцию 17 мая 2023; одобрена после рецензирования 18 сентября 2023; принята к публикации 20 ноября 2023.

The article was received by the editorial board on 17 May 2023; approved after editing on 18 Sep 2023; accepted for publication on 20 Nov 2023.

2. Ponomarev, V.V. (2011). Technology of adsorbents for purification of vegetable oils based on diatomite and bentonite of the Rostov region: *abstract of the dissertation of the Candidate of Technical Sciences* : 05.17.01 / Ponomarev Vladimir Vladimirovich. Novochoerkassk. 16 p. (In Russ.).

3. Mounts, T.L. (1981). Chemical and physical effects of processing fats and oils. *Journal of the American Society of Petrochemicals*, 58, 51A-54A. (In USA.).

4. Kotova, E.M. (2008). Development of effective methods of adsorption refining of vegetable oils: *abstract of the dissertation of the Candidate of Technical Sciences*: 05.18.06. Moscow. 25 p. (In Russ.).

5. Stryzhenok, A.A. (2015). Improving the technology of adsorption refining of vegetable oils: *abstract of the dissertation of Candidate of Technical Sciences*: 05.18.06 / Stryzhenok Albina Anatolyevna. Krasnodar. 24 p. (In Russ.).

6. Rich, A.D. (1964). Some of the main factors of bleaching fatty oils. *Journal of the American Society of Petrochemicals*, 41, 315-321. (In Russ.).

7. Taxiarchou, M. and Douni, I. (2014). The effect of oxalic acid activation on the bleaching properties of bentonite from the island of Milos. *Clay Minerals*, 49, 541-549. (In Greece.) doi: 10.1180/claymin. 2014.049.4.04.

8. Alvanyan, K.A. (2021). Regularities of changes in the physico-chemical properties of bentonite clay treated with high pressure: *abstract of the dissertation of the Candidate of Geological and mineralogical sciences*: 25.00.08, Alvanyan Karine Antonovna. Perm. 25 p. (In Russ.).

9. Kuchmenko, T.A. (2016). Electronic nose based on nanowires: expectations and reality // *Pure and Applied Chemistry*. Vol. 89, Issue 10, pages 1587-1601. (In Russ.).

10. Kuchmenko, T.A., Lvova, L.B. (2019). A look at the latest achievements in the field of piezoelectric chemical sensors for environmental monitoring and food analysis // *Chemosensors*, Vol. 7, issue 3, pp. 39-45. (In Russ.) doi: 10.3390/chemosensors7030039.

Information about the authors

V. N. Vasilenko - Doctor of Technical Sciences, Head of the Department "Machines and apparatuses of food production", Voronezh State University of Engineering technologies.

M. V. Kopylov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Fats Processes and Devices of Chemical and Food Production, Voronezh State University of Engineering technologies.

A. N. Ostrikov - Doctor of Technical Sciences, Head of the Department "Technologies of fat processes and devices of chemical and food production", Voronezh State University of Engineering technologies.

A. V. Terekhina - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Fats Processes and Devices of Chemical and Food Production, Voronezh State University of Engineering Technologies.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК664.858.8

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.012



ОБОСНОВАНИЕ СОРТООБРАЗЦА ТЫКВЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОВОЩНОГО МАРМЕЛАДА

Николай Борисович Кондратьев ¹, Егор Валерьевич Казанцев ²,
Пестерев Михаил Алексеевич ³, Бегеулов Марат Шагабанович ⁴,
Нина Александровна Буравава ⁵

^{1,2,3} ВНИИКП – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, Москва, Россия

¹ conditerprom@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3322-9621>

² conditerprom_lab@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8923-0029>

³ conditerprom_lab@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0980-1862>

^{4,5} Российский государственный аграрный университет-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

⁴ mbegeulow@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5773-8220>

⁵ nina.buravova01@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5735-1010>

Аннотация. Перед производителями кондитерской продукции стоят задачи оптимизации состава и совершенствования технологий изготовления изделий, обогащенных натуральными ингредиентами и обладающих высокой биологической ценностью. Кондитерские изделия на основе фруктового и овощного сырья ассоциируются у потребителей с продуктами здорового питания и обогащают рацион питания ценными биологически активными компонентами. Среди различных видов овощного сырья тыква содержит значительное количество β -каротина, который является провитамином А. Исследована возможность использования тыквы российской селекции различных сортобразцов твердокорой Т39, крупноплодной Т110, мускатной Ц20 и Т47, выведенных в РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, для изготовления овощного мармелада. Исследованы массовая доля редуцирующих сахаров, прочность, массовая доля влаги и активность воды, содержание β -каротина, макроэлементов и органических кислот образцов мармелада. Наибольшее содержание β -каротина и сухих веществ выявлено в плодах мускатной тыквы сортобразца Ц20 – 9,6 мг/100 г, а твердокорая тыква сортобразца Т39 содержит менее 0,2 мг/100 г β -каротина. Сортобразец Ц20 также характеризуется наибольшей массовой долей калия и магния, 386,6 и г 8,7 мг/100 г соответственно. Наилучшие органолептические и физико-химические характеристики образцов получены при использовании плодов мускатной тыквы сортобразца Ц20. Разработана рецептура овощного мармелада, содержащего 40,7 % пюре плодов тыквы с высоким содержанием β -каротина. Овощной мармелад характеризовался высокими органолептическими характеристиками и может быть рекомендован при профилактическом питании. Изготовленный овощной мармелад содержит необходимые организму человека макро- и микронутриенты, витамины и другие незаменимые биологически активные вещества.

Ключевые слова: мармелад, сортобразцы тыквы, β -каротин, пищевая ценность.

Благодарности: Авторы выражают признательность коллегам за помощь и благодарят за финансовую поддержку исследования.

Для цитирования: Обоснование сортобразца тыквы для изготовления овощного мармелада / Н. Б. Кондратьев [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 4, С. 94–102. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.012. EDN: <https://elibrary.ru/FQTFQP>.

Original article

JUSTIFICATION OF PUMPKIN VARIETY FOR MANUFACTURING VEGETABLE MARMALADE

Nikolay B. Kondratiev¹, Egor V. Kazantsev², Mikhail A. Pesterev³,
Marat Sh. Begeulov⁴, Nina A. Buravova⁵

^{1, 2, 3} VNIKP - branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Research Center of Food Systems named after V.M. Gorbатов" RAS, Moscow, Russia

¹ conditerprom@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3322-9621>

² conditerprom_lab@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8923-0029>

³ conditerprom_lab@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0980-1862>

^{4, 5} Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russia

⁴ mbegeulov@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5773-8220>

⁵ nina.buravova01@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5735-1010>

Abstract. *Manufacturers of confectionery products are faced with the task of optimizing the composition and improving the technologies for manufacturing products enriched with natural ingredients and having a high biological value. Confectionery products based on fruit and vegetable raw materials are associated by consumers with healthy food products and enrich the diet with valuable biologically active components. Among various types of vegetable raw materials, pumpkin contains a significant amount of β -carotene, which is a provitamin A. The possibility of using pumpkin of Russian breeding of various varieties of hard-bark T39, large-fruited T110, nutmeg C20 and T47, bred in the RGAU-MSHA them. K.A. Timiryazev, for the manufacture of vegetable marmalade. The mass fraction of reducing sugars, strength, mass fraction of moisture and water activity, the content of β -carotene, macroelements and organic acids of marmalade samples were studied. The highest content of β -carotene and solids was found in the fruits of the nutmeg pumpkin of the Ts20 variety - 9.6 mg/100 g, and the hard-barked pumpkin of the T39 variety contains less than 0.2 mg/100 g of β -carotene. Sample C20 is also characterized by the highest mass fraction of potassium and magnesium, 386.6 and 8.7 mg/100 g, respectively. The best organoleptic and physico-chemical characteristics of the samples were obtained using the fruits of the nutmeg pumpkin variety C20. A recipe for vegetable marmalade containing 40.7% pumpkin fruit puree with a high content of β -carotene has been developed. Vegetable marmalade was characterized by high organoleptic characteristics and can be recommended for preventive nutrition. Manufactured vegetable marmalade contains the macro- and micronutrients necessary for the human body, vitamins and other irreplaceable biologically active substances.*

Keywords: marmalade, pumpkin varieties, β -carotene, nutritional value.

Acknowledgements: *The authors are grateful to their colleagues for their help and thank them for the financial support of the study.*

For citation: Kondratiev, N. B., Kazantsev, E. V., Pesterev, M. A., Begeulov, M. Sh. & Buravova, N. A. (2023). Justification of pumpkin variety for manufacturing vegetable marmalade. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 94-102. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.012. EDN: <https://elibrary.ru/FQTFQP>.

ВВЕДЕНИЕ

Потребление кондитерских изделий различными группами населения ограничивается высокой энергетической ценностью и низким содержанием биологически активных веществ. В связи с этим весьма актуальны исследования, направленные на совершенствование технологии получения изделий со сниженной энергетической ценностью, содержащих овощные полуфабрикаты (компо-

ненты) и необходимые организму человека нутриенты. Среди разнообразия кондитерских изделий мармелад благодаря своим индивидуальным физико-химическим и технологическим особенностям может выступать объектом обогащения продуктами переработки фруктов и овощей, что повысит его пищевую ценность и конкурентоспособность.

Питание вносит до 50 % вклада в обеспечение физического здоровья и работоспособности человека. Несбалансированное,

неполноценное питание является одной из главных причин ухудшения здоровья населения РФ. При этом нарушения в рационе питания составляют от 30 до 50 % причин возникновения различных заболеваний, вызванных потреблением кондитерской продукции с высокой сахароёмкостью [1].

Сахаристые кондитерские изделия, как правило, не сбалансированы по содержанию белков, жиров, углеводов, витаминов, макро- и микроэлементов. Кроме этого, для придания привлекательных внешних характеристик используются синтетические пищевые красители и ароматизаторы. Поэтому перед производителями кондитерской продукции стоят задачи оптимизации состава и совершенствования технологий изготовления изделий, обогащенных натуральными ингредиентами и обладающих высокой биологической ценностью [2, 3].

Для решения таких задач предложено использовать фруктовые и овощные полуфабрикаты, содержащие биологически активные соединения, в том числе β -каротин. Например, известна технология изготовления мармелада, содержащего агар, фруктозу, смесь яблочного и тыквенного пюре, крахмал картофельный, позволяющая получить желевый мармелад функционального назначения. Недостатком предложенного состава является низкое содержание фруктово-овощного сырья и использование фруктозы, обладающей высокой гигроскопичностью и негативно влияющей на срок годности мармелада [4].

Предложен способ получения желевого мармелада с использованием концентрированной пасты из тыквы, агара, стевииозиды, патоки и лимонной кислоты, который обогащен пищевыми волокнами, витаминами, минеральными веществами, что позволяет расширить ассортимент кондитерских изделий функционального назначения с пониженной калорийностью [5].

Ранее проводившиеся кафедрой технологии хранения и переработки плодоовощной и растениеводческой продукции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева исследования показали, что плоды тыквы являются перспективным сырьем для пищевой промышленности. Большинство сортов образцов тыквы являются источником каротиноидов, встречающихся в красных, оранжевых и желтых фруктах и овощах. Каротиноиды снижают артериальное давление организма, обладают антиоксидантной активностью, способствуют регенерации кожных тканей, а важнейшие представители группы α - и β -каротин являются провитаминами витамина А. Чем более насы-

щенный цвет мякоти плода, тем выше содержание каротиноидов в нём [6, 7].

Условия российской климатической зоны весьма благоприятны для выращивания тыквы, однако эта культура относительно редко входит в рацион питания. За последний сезон урожай тыквы составил 605,8 тыс. тонн. Посевные площади тыквы за три года возросли от 9,3 до 12,3 тыс. га, что способствует повышению объёма использования данной культуры в пищевой промышленности.

Различают три основных вида тыквы: крупноплодная (*Cucurbita maxima* Duch.), мускатная (*C. Moschata* Duch. Ex. Poir.), твердокорая (*C. Pepo* var. *Citrulina* Duch.), которые подразделяют на подвиды и сорта, в зависимости от эколого-географического типа. Обширный ареал выращивания тыквы и большое количество сортов обуславливает её химический состав и технологию производства продуктов на её основе [8–10].

При получении полуфабрикатов на основе овощного сырья используются различные методы физического воздействия на овощное сырье, что позволяет получать заданную дисперсность частиц полуфабрикатов с повышенным количеством нативных микронутриентов [11].

Есть ряд работ по разработке мармелада с использованием ягодного, фруктового, овощного и тыквенного пюре. Известен способ получения желево-фруктового мармелада, содержащего агар, пюре калины красной (*Viburnum opulus*), черную смородину (*Ribes nigrum*), мелкорубленую перечную мяту (*Mentha piperita*) [12]. Ранее разработана рецептура желевого мармелада, содержащего патоку, фруктово-ягодное пюре, желатин, кислоту лимонную, ароматизирующие вещества и подготовленную воду [13, 14, 15].

Анализ литературных источников позволяет сделать вывод о существенном недостатке кондитерских изделий, изготовленных с использованием овощного сырья с высоким содержанием редуцирующих веществ. Учитывая требования современного рынка кондитерских изделий и приоритеты государственной политики в области развития пищевой перерабатывающей промышленности, расширение ассортимента кондитерской продукции, в том числе, овощного мармелада, содержащего пюре тыквы, является актуальным.

Поэтому целью данной работы явилось исследование тыквы различных сортов образцов для выбора оптимального сорта образца в качестве сырья для овощного мармелада. Для достижения этой цели поставлены и решены задачи обоснования сорта образца тыквы, разработана рецеп-

ОБОСНОВАНИЕ СОРТООБРАЗЦА ТЫКВЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОВОЩНОГО МАРМЕЛАДА

тура овощного мармелада, изготовлены образцы и проведена оценка их сохранности мармелада, рассчитана энергетическая ценность.

МЕТОДЫ

В качестве овощного сырья для изготовления мармелада использованы плоды тыквы российской селекции твердокорой сортобразца Т39, крупноплодной – Т110, мускатной – Ц20 и Т47, выведенных в РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. Оценка органолептических показателей проведена в соответствии с ГОСТ 7975-2013 «Тыква продовольственная свежая. Технические условия». В качестве объектов исследования обоснованы образцы овощного мармелада, изготовленные с использованием пюре тыквы; сахара белого; патоки мальтозной; агара.

Органолептическая оценка образцов мармелада проведена в соответствии с ГОСТ 6442-2014 «Мармелад. Общие технические условия».

Массовая доля влаги в образцах мармелада определена в соответствии с ГОСТ 5900-2014 «Изделия кондитерские. Методы определения влаги и сухих веществ».

Таблица 1 – Рецепт мармелада

Table 1 – Marmalade recipe

Наименование сырья	Массовая доля сухих веществ, %	Расход сырья на 1 т готовой продукции, кг	
		В натуре	В сухих веществах
Сахар белый	99,85	510,00	509,23
Патока	78,00	355,60	277,51
Пюре из тыквы	10,60	406,60	43,10
Агар	85,00	20,00	17,28
Кислота лимонная	98,00	5,00	4,96
Итого	–	1297,20	852,08
Выход	82,00	1000,00	820,00

РЕЗУЛЬТАТЫ

Содержание основных сырьевых компонентов отвечало классическим рецептурам овощного мармелада.

Проведены сравнительные исследования органолептических и физико-химических показателей качества тыквы сортобразцов Т110, Т39, Т47, Ц20 для дальнейшего использования в технологии овощного мармелада.

Цвет мякоти варьировался от светло-желтого у твердокорой тыквы сортобразца

Измерение активности воды проводилось в соответствии с ГОСТ ISO 21807-2015 «Микробиология пищевой продукции и кормов. Определение активности воды».

Содержание макроэлементов определено по ГОСТ 34414-2018 «Изделия кондитерские. Методы определения массовой доли фруктового сырья. Часть 2. Определение макроэлементов». Массовая доля β-каротина определена в соответствии с «Методикой определения массовой доли β-каротина спектрофотометрическим методом в кондитерских изделиях на основе фруктово-ягодного и овощного сырья» МВИ № 60-00334676-2017.

Определение массовой доли органических кислот проведено по ГОСТ 34123.1-2017 «Изделия кондитерские. Методы определения массовой доли фруктового и овощного сырья. Часть 1. Определение массовой доли органических кислот».

Изготовление мармелада предусматривало получение рецептурной смеси из пюре плодов тыквы, агара (Чили), сахара белого и патоки (таблица 1).

Т39 до ярко оранжевого у мускатной тыквы сортобразца Ц20 (рисунок 1).

Твердокорая тыква Т39 имела наименьшую твердость, слабо выраженные цвет и аромат, поэтому этот сортобразец не использовали при изготовлении овощного мармелада.

Проведены исследования массовой доли β-каротина в плодах тыквы различных сортобразцов. Установлено, что наибольшее содержание β-каротина и сухих веществ в плодах мускатной тыквы сортобразца Ц20, а наименьшее количество каротиноидов – в твердокорой тыкве сортобразца Т39 (таблица 2).

Таблица 2 – Массовая доля β-каротина и сухих веществ в плодах тыквы

Table 2 – Mass fraction of β-carotene and solids in pumpkin fruits

Вид тыквы	Сортобразцы	Массовая доля β-каротина, мг/100 г	Массовая доля Сухих веществ, %
Мускатная (<i>Cucurbita moschata</i>)	Ц20	9,61	10,56
Мускатная (<i>Cucurbita moschata</i>)	Т47	8,10	9,94
Крупноплодная (<i>Cucurbita pepo</i>)	Т110	2,02	8,43
Твердокорая (<i>Cucurbita maxima</i>)	Т39	<0,2	10,17

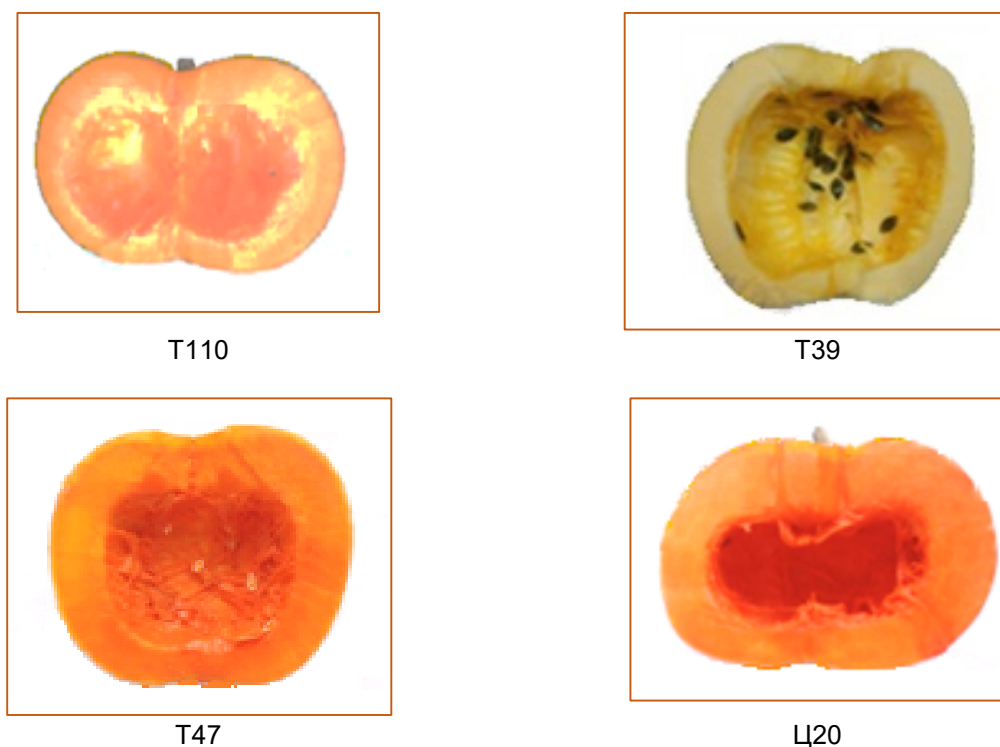


Рисунок 1 – Тыква крупноплодная сортобразца Т110, твёрдокорая сортобразца Т39, мускатная сортобразца Т47, мускатная сортобразца Ц20

Figure 1 – Large-fruited pumpkin variety T110, hard bark variety T39, nutmeg variety T47, nutmeg variety Ts20

Наилучшими вкусовыми качествами обладали тыква сортобразцов Ц20 и Т47, при этом сортобразец Т47 отличался более выраженным ароматом (рисунок 2).

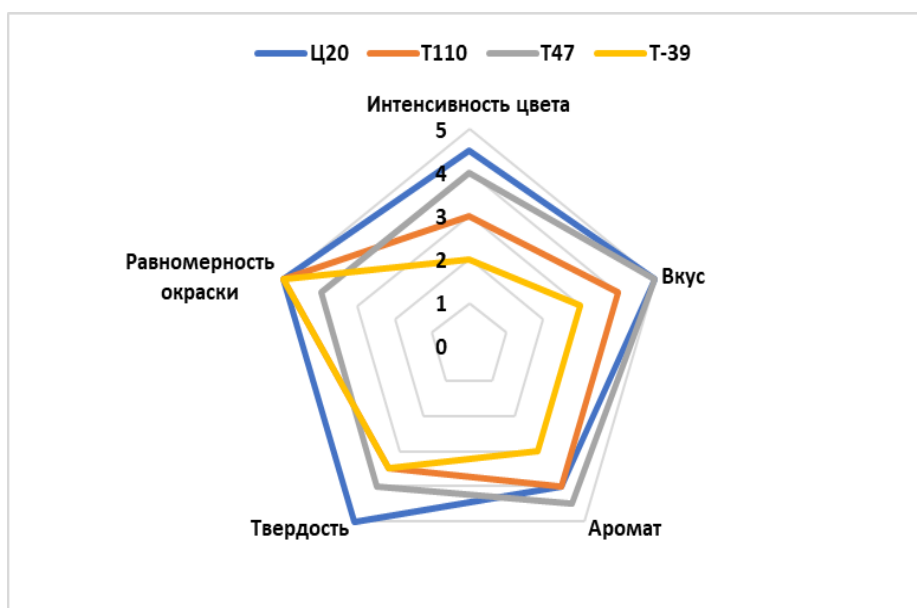


Рисунок 2 – Профилограмма органолептического анализа образцов тыквы

Figure 2 – Profilogram of organoleptic analysis of pumpkin samples

ОБОСНОВАНИЕ СОРТООБРАЗЦА ТЫКВЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОВОЩНОГО МАРМЕЛАДА

Определено содержание макроэлементов калия, натрия, магния, кальция методом капиллярного электрофореза (рисунок 3, таблица 3).

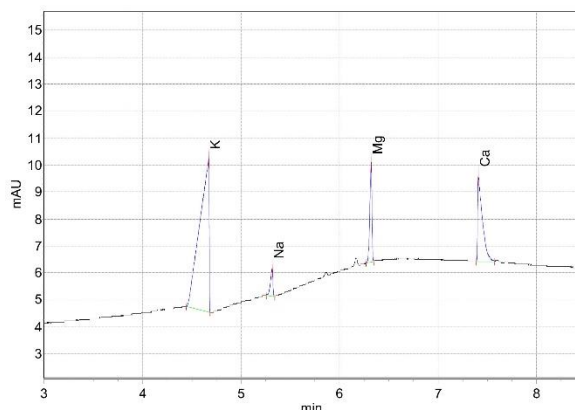


Рисунок 3 – Электрофореграмма макроэлементов сортобразца тыквы мускатная Ц20

Figure 3 – Electrophoregram of macroelements of pumpkin variety-sample Muscat Ts20

Определено содержание органических кислот яблочной и лимонной в плодах тыквы различных сортобразцов (рисунок 4, таблица 4).

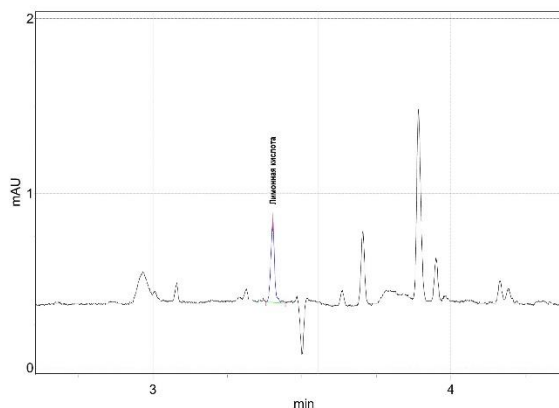


Рисунок 4 – Электрофореграмма органических кислот сортобразца тыквы мускатная Ц20

Figure 4 – Electrophoregram of organic acids of pumpkin cultivar Muscat Ts20

Таблица 3 – Содержание макроэлементов в плодах тыквы

Table 3 – The content of macronutrients in pumpkin fruits

Сортобразец	Массовая доля макроэлементов, мг/100 г			
	Калий	Натрий	Магний	Кальций
Мускатная Ц20	386,6	7,0	8,7	25,4
Мускатная Т47	238,3	11,3	6,4	35,4
Крупноплодная Т110	263,8	7,4	4,6	16,0
Твердокорая Т39	121,5	20,3	5,3	27,9

Таблица 4 – Массовая доля органических кислот в плодах тыквы

Table 4 – Mass fraction of organic acids in pumpkin fruits

Сортобразец	Массовая доля органических кислот, мг/100 г	
	лимонная	яблочная
Мускатная Ц20	0,14	< 0,02
Мускатная Т47	< 0,02	< 0,02
Крупноплодная Т110	0,06	< 0,02
Твердокорая Т39	< 0,02	0,06

Наибольшее содержание лимонной кислоты, калия и магния выявлено в плодах мускатной тыквы сортобразца Ц20.

Наилучшие органолептические и физико-химические характеристики овощного мармелада получены для мармелада, изготовленного с использованием плодов мускатной тык-

вы сортобразца Ц20. В результате органолептической оценки овощного мармелада выявлено, что образец, приготовленный с использованием пюре из плодов твердокорой тыквы Т39, характеризовался светлой окраской, плотной консистенцией и невыраженным вкусом тыквы. В связи с этим данный сортобразец не был использован в дальнейших исследованиях. Наиболее высокими органолептическими свойствами обладали изделия на основе двух сортобразцов мускатной тыквы. Они обладали яркой оранжевой окраской, гладкой, не липкой поверхностью без дефектов, со студнеобразной консистенцией (рисунок 3).

Наилучшими вкусовыми качествами обладали тыквы сортобразцов Ц20 и Т47, при этом сортобразец Т47 отличался более выраженным ароматом (рисунок 5).



Рисунок 5 – Образцы овощного мармелада

Figure 5 – Samples of vegetable marmalade

Все образцы мармелада имели студнеобразную консистенцию, гладкую ровную поверхность, правильную форму без деформации и цвет, характерный соответствующему цвету тыкв.

Органолептическая оценка готовых изделий показала, что у разработанных образцов мармелада хорошая формоудерживающая способность, приятный аромат, яркий оранжевый цвет и выраженный вкус тыквы. Мармелад, изготовленный из пюре сортаобразца тыквы мускатная Ц20, имел более яркую окраску и сильно выраженный вкус тыквы (рисунок 6).

100

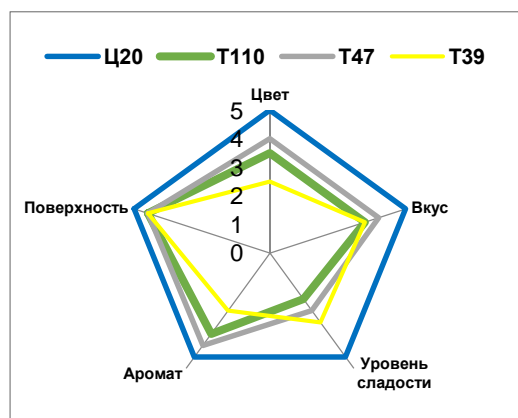


Рисунок 6 – Профилограммы мармелада с использованием пюре тыквы

Figure 6 – Marmalade profilograms using pumpkin puree

ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследований установлено, что сортаобразец мускатной тыквы Ц20 наиболее богат макро- и микроэлементами относительно других исследованных сортаобразцов, а присутствие плодов данного сортаобразца в рецептурном составе овощного мармелада позволяет получить высокие органолептические и физико-химические показатели качества мармелада.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, наилучшие органолептические и физико-химические характеристики мармелада получены при использовании плодов мускатной тыквы сортаобразца Ц20. В результате проведенной работы разработан овощной мармелад с высоким содержанием тыквенного пюре и β -каротина. В соответствии с разработанной рецептурой на 1 т мармелада используется 406,6 кг пюре из тыквы. Такой овощной мармелад характеризуется пониженной энергоемкостью, содержит необходимые организму человека макро- и микронутриенты, витамины и может быть рекомендован для профилактического питания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. «МР 2.3.1.0253-21. 2.3.1. Гигиена питания. Рациональное питание. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации». Москва : 2021. 78 с.
2. Способ производства желейного мармелада : пат. 2376869 Рос. Федерация № 2008141924/13;

заявл. 22.10.2008; опубл. 27.12.2009, Бюл. № 36. 9 с.

3. Зайцева Л.В., Мазукабзова Э.В., Богачук М.Н. Исследование влияния пектинов плодовоовощных порошков на технологические свойства кондитерской глазури // *Пищевые системы*. 2023. № 6(1). С. 117–125. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-1-117-125>.

4. Способ получения желеино-мармелада с использованием концентрированной пасты из тыквы: пат. 2603895 Рос. Федерация № 2015126296/13; заявл. 02.07.2015; опубл. 10.12.2016, Бюл. № 34. 8 с.

5. Неменушчая Л.А., Пискунова Н.А., Осмоловский П.Д. Технологические основы переработки перспективного овощного сырья // *Проблемы современной аграрной науки : материалы научной конференции*. Красноярск : КГАУ, 2021. С. 415–449.

6. Гришаева О.В., Егорова И.Н., Борисова И.С. Сравнительный анализ каротиноидов различных сортов тыквы методами тонкослойной хроматографии и спектрофотометрии // *Хроматография в химии, медицине и биологии: актуальные вопросы, достижения и инновации : материалы I научно-практической конференции, посвященной памяти профессора П.В. Кузнецова (с международным участием)*. Кемерово : КемГМУ, 2021. С. 148–152.

7. Овощной мармелад : пат. 2635166 Рос. Федерация № 2016100471; заявл. 11.01.2016; опубл. 13.07.2017, Бюл. № 20. 7 с.

8. Агрэкологические особенности технологии выращивания и селекции тыквы для нечерноземной зоны России / А.В. Гончаров [и др.] // *Труды по интродукции и акклиматизации растений*. 2021. С. 46–48.

9. Сравнительная оценка сортов тыквы в Удмуртской Республике / О.В. Коробейникова [и др.] // *Овощи России*. 2023. № 1. С. 75–79. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-1-75-79>.

10. Скрипников Ю.Г., Коровкина М.Ю. Характеристика сортов тыквы для выращивания на семена // *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2011. № 2–2. С. 49–51.

11. Пестерев М.А., Лаврухин М.А. Создание полуфабрикатов с повышенным содержанием микронутриентов на основе плодовоовощного сырья // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2022. № 4. С. 66–73. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.376>.

12. Смирнова Д.Е., Егушова Е.А. Натуральные сахарозаменители в производстве кондитерских изделий // *Теория и практика современной аграрной науки: материалы V всероссийской научной конференции (с международным участием)*. Новосибирск : НГАУ, 2022. С. 1071–1075.

13. Способ производства желеино-мармелада : пат. 2641070 Рос. Федерация № 2016128496; заявл. 13.07.2016; опубл. 15.01.2018, Бюл. № 2. 4 с.

14. Перфилова О.В., Бабушкин В.А., Магомедов Г.О. Магомедов М.Г., Польшкова А.В. Разработка нового ассортимента полуфабрикатов и продуктов питания из вторичного фруктового сы-

рья // *Инновационные и ресурсосберегающие технологии продуктов питания : материалы I Национальной научно-технической конференции (с международным участием)*. Рыбное : АГТУ, 2018.

15. Магомедов Г.О., Лобосова Л.А., Журахова С.Н. Желейно-фруктовый мармелад повышенной пищевой ценности с соком из ягод облепихи // *Техника и технология пищевых производств*. 2017. № 3(46). С. 50–54.

Информация об авторах

Н. Б. Кондратьев – доктор технических наук, главный научный сотрудник ВНИИКП – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.

Е. В. Казанцев – научный сотрудник ВНИИКП – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.

М. А. Пестерев – младший научный сотрудник ВНИИКП – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.

М. Ш. Бегеулов – к.с.-х.н., доцент кафедры технологии хранения и переработки плодовоовощной и растениеводческой продукции ФГБОУ ВО – Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева.

Н. А. Буравова – студент ФГБОУ ВО – Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева.

REFERENCES

1. "MR 2.3.1.0253-21. 2.3.1. Foodhygiene. Balanced diet. Norms of physiological needs for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation. Guidelines". Moscow : 2021. (In Russ.).

2. Magomedov, G.O., Lobosova, L.A., Pasmorov, G.G. & Bogdanov, V.V. (2009). Method for the production of jelly marmalade. *Pat. 2376869. Russian Federation, published on 27.12.2009*. Bull. No. 36. (In Russ.).

3. Zaytseva, L.V., Mazukabzova, E.V. & Bogachuk, M.N. Investigation of the effect of pectins of fruit and vegetable powders on the technological properties of confectionery glaze. *Food systems*. 2023. 6(1). 117-125. (In Russ.). <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-1-117-125>.

4. Magomedov, G.O., Magomedov, M.G., Lobosova, L.A. & Tutova, Ya.V. (2016). A method for obtaining jelly marmalade using concentrated pumpkin paste. *Pat. 2603895. Russian Federation, published on 10.12.2016*. Bull. No. 34. (In Russ.).

5. Nemenushchaya, L.A. & Piskunova, N.A. (2021). Technological foundations for the processing of promising vegetable raw materials. *Problems of modern agrarian science: materials of the scientific conference*. Krasnoyarsk : KGAU. 148-152. (In Russ.).

6. Grishaeva, O.V., Egorova, I.N. & Borisova, I.S. (2021). *Comparative analysis of carotenoids of different varieties of pumpkin by thin-layer*

chromatography and spectrophotometry. Chromatography in chemistry, medicine and biology: current issues, achievements and innovations: materials of the 1st scientific and practical conference (with international participation) dedicated to the memory of Professor P.V. Kuznetsov. Kemerovo : KemGMU. 148-152. (In Russ.).

7. Tsybikova, G.T. (2017). Vegetable marmalade. *Pat. 2635166. Russian Federation, published on 13.07.2007. Bull. No. 20. (In Russ.).*

8. Goncharov, A.V. [et al.]. (2021). Agroecological features of the technology of growing and breeding pumpkin for the non-chernozem zone of Russia. *Proceedings on the introduction and acclimatization of plants, 46-48. (In Russ.).*

9. Korobeynikova, O.V. [et al.]. (2023). Comparative evaluation of pumpkin varieties in the Udmurt Republic. *Russian vegetables, (1). 75-79. (In Russ.). https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-1-75-79.*

10. Skripnikov, Yu.G. & Korovkina, M.Yu. (2011). Characteristics of pumpkin varieties for growing for seeds. *Bulletin of the Michurinsk State Agrarian University, (2-2). 49-51.*

11. Pesterev, M.A. & Lavrukhin, M.A. (2022). Creation of semi-finished products with a high content of micronutrients based on fruit and vegetable raw materials. Storage and processing of agricultural rawmaterials. (4). 66-73. (In Russ.). <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.376>.

12. Smirnova, D.E. & Egushova, E.A. (2022). *Natural sweeteners in the production of confectionery. Theory and practice of modern agrarian science: materials of the V All-Russian scientific conference (with international participation). Novosibirsk : NGAU. 1071-1075. (In Russ.).*

13. Krylova, E.N., Savenkova, T.V., Aksenova, L.M., Mavrina, E.N. (2018). Method for the production of jelly marmalade. *Pat. 2641070. Russian Federation, published on 13.07.2016. Bull. No. 2. (In Russ.).*

14. Perfilova, O.V. [et al.]. (2018). *Development*

of a new range of semi-finished products and food products from secondary fruit raw materials // Innovative and resource-saving food technologies: Proceedings of the I National Scientific and Technical Conference (with international participation). Fish : ASTU, 2018. (In Russ.).

15. Magomedov, G.O., Lobosova, L.A. & Zhurakhova, S.N. (2017). Jelly-fruit marmalade of increased nutritional value with juice from seabuckthorn berries. *Technique and technology of food production, 3(46), 50-54. (In Russ.).*

Information about the authors

N. B. Kondratiev - Doctor of Technical Sciences, chief researcher of the VNIIPK - branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Research Center of Food Systems named after V.M. GorbatoV" RAS.

E. V. Kazantsev - researcher of the VNIIPK - branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Research Center of Food Systems named after V.M. GorbatoV" RAS.

M. A. Pesterev - junior researcher of the VNIIPK - branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Research Center of Food Systems named after V.M. GorbatoV" RAS.

M. Sh. Begeulov - Candidate of Agricultural Sciences, associate professor of the Department of the Technology of Storage and Processing of Fruits and Vegetables and Crop Products of the Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev.

N. A. Buravova - student of the Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 17 мая 2023; одобрена после рецензирования 18 сентября 2023; принята к публикации 20 ноября 2023.

The article was received by the editorial board on 17 May 2023; approved after editing on 18 Sep 2023; accepted for publication on 20 Nov 2023.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК634.74:57:581.192.2

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.013

 EDN: FOYGOR

НУТРИЕНТНЫЙ ПРОФИЛЬ ПЛОДОВ КИЗИЛА (*Cornus mas* L.)

Михаил Юрьевич Акимов¹, Татьяна Владимировна Жидехина²,
Екатерина Викторовна Жбанова³, Владимир Александрович Кольцов⁴,
Алексей Михайлович Миронов⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина, Мичуринск, Россия

¹ info@fnc-mich.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1990-4902>

² berrys-m@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9543-7069>

³ shbanovak@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5045-384X>

⁴ kolcov.mich@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2841-6126>

⁵ sigurd32@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8530-7535>

Аннотация. В работе отражены исследования макро- и микронутриентного состава плодов перспективных сортов кизила генетической коллекции нетрадиционных садовых культур ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина». Изучение химического состава плодов проводилось на приборно-аналитической базе лаборатории биохимии и пищевых технологий и лаборатории передовых послеуборочных технологий в соответствии со стандартными методиками. Изучение состава фенольных компонентов осуществлялось с помощью метода ОФ ВЭЖХ. Высокие вкусовые качества и умеренная кислотность плодов отмечены у сорта Бродовский желтый. Наибольшим содержанием аскорбиновой кислоты характеризуются эл. с. 29-00 (64,5 мг/100 г), сорт Новый крупный (59,7 мг/100 г). Высоким суммарным содержанием антоцианов характеризуются эл. с. 29-00 (100,5 мг/100 г), сорта Былда (94,5 мг/100 г), Стрыйский (98,6 мг/100 г). Катионов калия накапливалось в пределах 119,46–263,83 мг/100 г, натрия – 0,73–3,15 мг/100 г, магния – 11,03–15,53 мг/100 г, кальция – 30,33–46,69 мг/100 г. Плоды сортов кизила Аббат и Николка 2 характеризуются преобладанием в антоциановом комплексе Су3Gala, а плоды сортов Находка и Волгоградский грушевидный – Pг3Gala. Показано, что структурный состав флавонолов не изменяется в зависимости от генетических различий и условий возделывания сортов. Основными флавонолами являются: кверцетин-3-глюкуронид, кемпферол-3-галактозид и кверцитин-3-рутинозид. Углубленное изучение питательной и биологической ценности плодов кизила позволяет рекомендовать их для свежего потребления и технологической переработки.

Ключевые слова: кизил обыкновенный (*Cornus mas* L.), химический состав, аскорбиновая кислота, полифенольные соединения, антоцианы, минеральные элементы.

Для цитирования: Нутриентный профиль плодов кизила (*Cornus mas* L.) / М. Ю. Акимов [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 4, С. 103–109. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.013. EDN: <https://elibrary.ru/FOYGOR>.

Original article

NUTRIENT PROFILE OF DOGWOOD FRUITS (*Cornus mas* L.)

Mikhail Yu. Akimov¹, Tatiana V. Zhidekhina², Yekaterina V. Zhdanova³,
Vladimir A. Koltsov⁴, Aleksey M. Mironov⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} FSSI "I.V. Michurin Federal Scientific Center", Michurinsk, Russia

© Акимов М. Ю., Жидехина Т. В., Жбанова Е. В., Кольцов В. А., Миронов А. М., 2023

¹ info@fnc-mich.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1990-4902>

² berrys-m@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9543-7069>

³ shbanovak@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5045-384X>

⁴ kolcov.mich@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2841-6126>

⁵ sigurd32@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8530-7535>

Abstract. The work reflects the studies of macro- and micronutrient composition of fruits of promising varieties of dogwood genetic collection of non-traditional horticultural crops of I.V. Michurin Federal Scientific Center. The study of the chemical composition of fruits was carried out on the instrumental and analytical base of the laboratory of biochemistry and food technologies and the laboratory of advanced postharvest technologies in accordance with standard methods. The composition of phenolic components was studied using the HPLC method. High palatability and moderate acidity of fruits were observed in the variety Brodovskiy yellow. The highest content of ascorbic acid is characterized by the elite seedling 29-00 (64.5 mg/100 g), cultivar Novy Large (59.7 mg/100 g). The high total content of anthocyanins is characterized by the elite seedling 29-00 (100.5 mg/100 g), varieties Bylda (94.5 mg/100 g), Stryisky (98.6 mg/100 g). Potassium cations accumulated between 119.46-263.83 mg/100 g, sodium 0.73-3.15 mg/100 g, magnesium 11.03-15.53 mg/100 g, calcium 30.33-46.69 mg/100 g. Fruits of dogwood varieties Abbot and Nikolka 2 are characterized by the predominance of Cy3Gala in the anthocyanin complex, and fruits of Nakhodka and Volgograd pear-shaped varieties - Pg3Gala. It was shown that the structural composition of flavonols does not change depending on genetic differences and cultivation conditions of varieties. The main flavonols are: quercetin 3-glucuronide, kaempferol 3-galactoside and quercetin 3-rutinoside. In-depth study of the nutritional and biological value of dogwood fruits makes it possible to make recommendations for their fresh consumption and technological processing.

Keywords: cornelian cherry (*Cornus mas* L.), chemical composition, ascorbic acid, polyphenols, anthocyanins, mineral elements.

For citation: Akimov, M. Yu., Zhidekhina, T. V., Zhanova, Ye. V., Koltsov, V. A. & Mironov, A. M. (2023). Nutrient profile of dogwood fruits (*Cornus mas* L.). *Polzunovskiy vestnik*, (4), 103-109. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.013. EDN: <https://elibrary.ru/FOYGOR>.

ВВЕДЕНИЕ

Потребность в исследовании биоактивных соединений, получаемых из природных источников, значительно возросла в связи с высокой распространенностью заболеваний, связанных с гиподинамией и ожирением, и, как следствие, осознанием необходимости принятия профилактических мер, таких как сбалансированное здоровое питание и использование пищевых добавок. Возникает необходимость в расширении потребительской корзины продукции с высоким уровнем содержания микронутриентов [1, 2].

Cornus mas L. (семейство Cornaceae), известный как европейский и азиатский кизил, представляет собой разновидность кизила, произрастающего в Южной Европе и Юго-Западной Азии. Кизил хорошо адаптирован к неблагоприятным условиям окружающей среды, устойчив к болезням и вредителям [3]. Его плоды традиционно используются в пищу как в свежем виде, так и в переработанном, в виде джемов, соков, мармелада, сиропов, соусов, настоек. Плоды кизила – ценный источник аскорбиновой кислоты,

флавоноидов (в частности антоцианов), иридоидов [4–6]. В многочисленных исследованиях сообщается о широком спектре биологических свойств плодов кизила, таких как антибактериальная активность в отношении патогенных агентов [7, 8], цитотоксическая [9] и противовоспалительная активность [10], а также кардиопротекторное действие [11].

Аскорбиновая кислота (витамин С) является одним из важнейших биологически активных веществ, необходимых для нормального функционирования организма. Недостаток витамина С характерен для значительной части (10–30 %) взрослого и детского населения РФ, особенно в зимне-весенний период года, что обусловлено недостаточным и нерегулярным потреблением зелени, свежих овощей и фруктов [12].

Антоцианы, обладая антиоксидантными и антирадиантными свойствами, обращают внимание как натуральные колоранты для пищевой промышленности. Подробно исследуется антоциановый профиль различных плодовых и ягодных культур, в том числе кизила. В работе Martinović [et. al.] (2020) [13] было идентифицировано 5 антоцианов в

плодах кизила, выращенных в Черногории: Dp3Glu, Cy3Gala, Cy3Robi, Pg3Gala, Pg3Robi. В плодах кизила местных генотипов, произрастающих в Черногории, преобладает Cy3Gala, а в интродуцированных сортах – Pg3Gala. В плодах кизила, выращенных в Румынии [10], было идентифицировано с помощью ВЭЖХ-УФ 3 антоциана: Cy3Gala, Pg3Glu и Pg3Rutc преобладаем в исследуемых объектах Pg3Glu. В работе Kucharska [et. al.] (2015) [14] предлагается использовать в качестве аутентификации плодов кизила и продуктов переработки Pg3Glu. Seeram [et. al.] (2002) [15] обнаружили в плодах *Cornus mas* L. различные антоциановые соединения: дельфинидин 3-О-β-галактопиранозид, цианидин 3-О-β-галактопиранозид и пеларгонидин 3-О-β-галактопиранозид. В плодах *Cornus mas* L., выращенных на территории Турции [16] и Италии [17], были идентифицированы следующие антоцианы: Cy3Glu, Cy3Rut, Pg3Glu, Pg3Rut с преобладанием Pg3Glu во всех плодах.

Согласно литературным данным, метанольный экстракт *Cornus mas* L. представлен богатым составом флавоноидных гликозидов. В основном они представляют собой флавоноловые гликозиды кверцетина и кемпферола в виде агликонов с олигосахаридными фрагментами в виде моно- или дисахаридов, связанных в положении 3-ОН [17]. В качестве основных иридоидов плодов кизила обыкновенного обнаружены 2 иридоидных гликозида (логаниновая кислота и логанин) и 2 секоиридоидных гликозида (сверозид и корнузид) [6].

Целью наших исследований являлось определение нутриентного состава плодов перспективных сортов кизила, возделываемых на территории Тамбовской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено исследование нутриентного состава плодов кизила генетической коллекции нетрадиционных садовых культур ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина»: Аббат, Бродовский желтый, Былда, Волгоградский грушевидный, Костя, Находка, Николка 1, Николка 2, Новый Кравчука, Новый крупный, Очень ранний, Стрыйский, эл.с. 29-00. Исследования проводились в период 2017–2022 гг.

Изучение химического состава плодов проводили на приборно-аналитической базе лаборатории биохимии и пищевых технологий и лаборатории передовых послеуборочных технологий в соответствии со стандартными методиками. Содержание растворимых сухих веществ оценивали рефрактометрическим методом (рефрактометр RX-5000i, Atago, Япония) по ГОСТ ISO 2173-2013; со-

держание суммы сахаров, органических кислот, аскорбиновой кислоты – методом потенциометрического титрования (автоматический титратор G20S серии Titration Compact, Mettler Toledo, Швейцария) согласно ГОСТ 8756.13-87, ГОСТ ISO 750-2013, ГОСТ 24556-89; сумму антоцианов в пересчете на цианидин-3-глюкозид – методом pH-дифференциальной спектрофотометрии (спектрофотометр Genesys 10uv, Thermo, США) по ГОСТ 32709-2014, минеральные элементы – методом капиллярного электрофореза (система капиллярного электрофореза «Капель 105 М», Lumex, С.-Пб. согласно руководству М 04-52-2008.

Изучение состава фенольных компонентов плодов кизила осуществляли с помощью метода ОФ ВЭЖХ (жидкостный хроматограф Thermo Ultimate 3000 (США), оснащенный диодно-матричным детектором DAD-3000). Разделение компонентов проводили на колонке Hypersil Gold C18 (4,6 x 250 мм, 5μm). В качестве подвижной фазы использовали: А – фосфатный буфер (0,007м КН₂РO₄+Н₃РO₄, pH 2,5), В – ацетонитрил HPLC. Градиент подвижной фазы имел следующий вид: 0–10 мин – 5 % В, 18 мин – 23 % В, 30 мин – 30 % В, 35–45 мин – 40 % В, 55 мин – 5 % В, 60 мин – 5 % В.

Детектирование сигнала проводили на длинах волн 280, 330, 360 и 520 нм, с диапазоном сигнала от 200 до 700 нм. Скорость подачи подвижной фазы была 1мл/мин, температура колонки 30 °С, объем инъекции 20 μл. Идентификацию соединений подтверждали сравнением времени удерживания Rt и спектральных характеристик с данными параметрами стандартных веществ и литературными данными, полученными на колонках со сходными характеристиками в аналогичных условиях. Обработку полученных результатов проводили с помощью программного обеспечения Chromeleon 7.2.8.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В плодах кизила накапливалось в среднем по сортам 18,9 % Вгix растворимых сухих веществ (РСВ). Наибольшее содержание РСВ отмечено у сортообразцов Очень ранний (24,3 % Вгix), Бродовский желтый (21,6 % Вгix), Аббат (25,1 % Вгix). Среднее содержание сахаров составило 10,8 %. Лучшими по данному показателю являлись те же сортообразцы: Очень ранний (16,5 %), Бродовский желтый (14,0 %), Аббат (13,6 %). В сравнении с другими плодовыми культурами содержание органических кислот в плодах кизила достаточно высокое: среднее значение составило

2,76 %, максимальное – 3,65 %. Наименьшее накопление кислот характерно для сорта Бродовский желтый (2,08 %), наибольшее – для сортов Волгоградский грушевидный и Костя (3,38 %). Наибольшим сахарокислотным индексом отличались сорта Бродовский желтый и Аббат.

Кизил – довольно ценный источник аскорбиновой кислоты. Среднее содержание витамина С у изученных образцов составило 45,0 мг/100 г с варьированием от 25,7 до 85,4 мг/100 г. Если принять рекомендуемую суточную норму потребления витамина С, равной 100,0 мг/100 г [18], то употребление 100 г мякоти плодов кизила покрывает суточную потребность в витамине С на 45,0 %. Лучшими по накоплению аскорбиновой кислоты являются эл. с. 29-00 (64,5 мг/100 г) и сорт Новый крупный (59,7 мг/100 г). Изучение минерального состава плодов кизила показало высокое накопление катионов калия – от 119,46 до 263,83 мг/100 г. Катионов натрия накапливалось от 0,73 до 3,15 мг/100 г, магния – от 11,03 до 15,53 мг/100 г. Высоким накоплением катионов калия характеризова-

лись сорта Аббат и Очень ранний, натрия – сорт Аббат, магния – Бродовский желтый, кальция – Волгоградский грушевидный и Очень ранний.

Плоды кизила могут представлять интерес и как источники антоцианов. Среднее содержание – 77,1 мг/100 г; пределы варьирования – от 33,4 (Новый Кравчука) до 160,4 мг/100 г (эл.с. 29-00). Темной окраской и высоким суммарным содержанием антоцианов характеризуются эл. с. 29-00 (100,5 мг/100 г), сорта Былда (94,5 мг/100 г), Стрыйский (98,6 мг/100 г). Антоциановые пигменты в исследуемых плодах кизила были идентифицированы с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии с детектированием в УФ-видимой области при длине волны 520 нм (рис. 1). В результате проведенных исследований было идентифицировано 3 соединения: Dp3Glu, Cy3Gala, Pg3Gala, причем состав антоцианового комплекса в исследуемых сортах кизила по сортам не отличался. Изменялось относительное содержание определенных антоцианов.

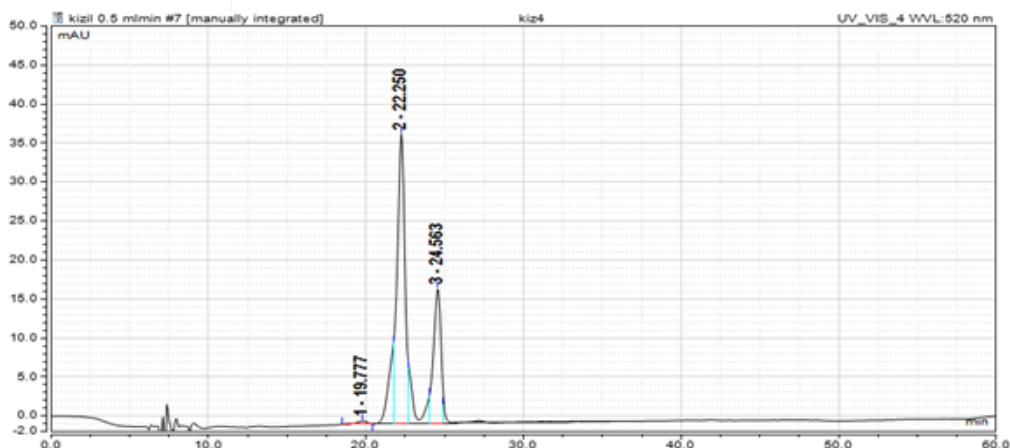


Рисунок 1 – Хроматографический профиль антоцианов плодов кизила при длине волны 520 нм (1 – Dp3Glu, 2 – Cy3Gala, 3 – Pg3Gala)

Figure 2 – Chromatographic profile of dogwood fruits anthocyanins at a wavelength of 520 nm (1 – Dp3Glu, 2 – Cy3Gala, 3 – Pg3Gala)

Так, в исследуемых плодах сортов Аббат, Николка 2, Былда, Николка 1, Провинциальный, Костя преобладает (более 60 %) Cy3Gala, а в плодах сортов Находка, Волгоградский грушевидный, Очень ранний, Стрыйский, эл.с. 29-00. и Новый Кравчука – Pg3Gala. Полученные данные согласуются с данными отечественных и зарубежных исследований [6, 13, 19].

В изученных образцах кизила были обнаружены 5 флавонолов (рис. 2). Согласно вре-

мени удерживания и УФ-спектру поглощения в сравнении со стандартным веществом, компонент 13 был идентифицирован как кверцетин-3-рутинозид. Согласно хроматографическим характеристикам и данным литературных источников, компоненты 15 и 16 идентифицированы как кверцетин 3-глюкуронид и кемпферол 3 галактозид соответственно. Качественный состав флавонолов среди изученных сортов кизила не изменялся.

НУТРИЕНТНЫЙ ПРОФИЛЬ ПЛОДОВ КИЗИЛА (*Cornus mas* L.)

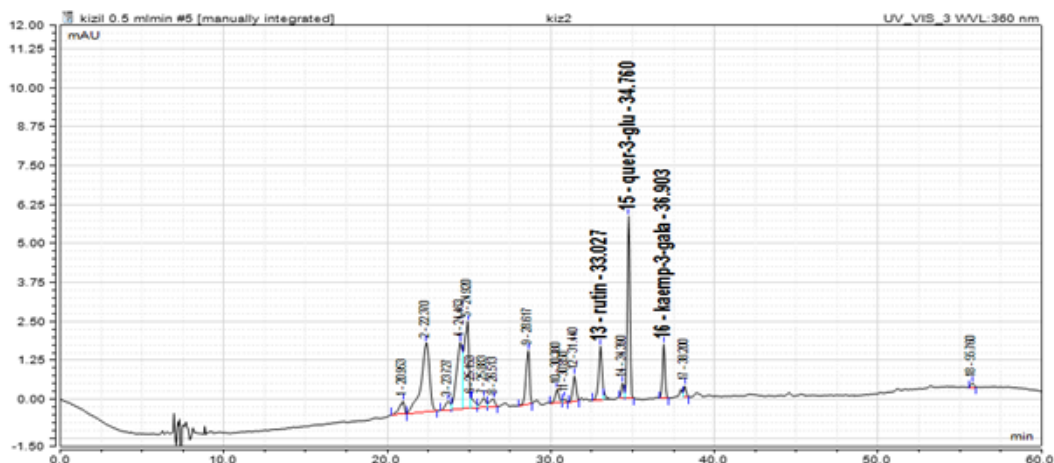


Рисунок 2 – Хроматографический профиль флавонолов плодов кизила при длине волны 360 нм

Figure 2 – Chromatographic profile of dogwood fruits flavonols at a wavelength of 360 nm

Установлено, что в исследуемых плодах кизила сортов Аббат, Бродовский желтый, Костя, Новый Кравчука и Волгоградский грушевидный преобладающим флавонолом является кверцетин 3-глюкуроид, а в сортах Находка, Былда, эл. с. 29-00, Очень ранний, Стрыйский, Николка 1 и Николка 2 – кемпферол 3 галактозид. Полученные данные согласуются с исследованиями Pawlowska et al. (2010) [17], Begic-Akagic et al. (2013) [20], Drkenda et al. (2014) [21], Dzydzan et al. (2019) [22].

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований показана высокая питательная и витаминная ценность плодов кизила. Выделены генотипы с высоким уровнем накопления основных биохимических компонентов: Провинциальный (аскорбиновой кислоты и антоцианов); Бродовский желтый, Аббат, Очень ранний (растворимых сухих веществ и сахаров); Очень ранний, Аббат (катионов калия).

Установлены различия в качественном составе антоцианового комплекса плодов кизила. Плоды сортов кизила Аббат и Николка 2, выращенные на территории Тамбовской области, характеризуются преобладанием Су3Gala в антоциановом комплексе, а плоды сортов Находка и Волгоградский грушевидный – Рg3Gala.

Структурный состав флавонолов не изменяется в зависимости от генетических различий и условий возделывания сортов. Основными флавонолами являются кверцетин-3-глюкуроид, кемпферол-3-галактозид и кверцетин-3-рутинозид.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акимов М.Ю., Макаров В.Н., Жбанова Е.В. Роль плодов и ягод в обеспечении человека жизненно важными биологически активными веществами // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 2. С. 56–60. DOI : 10.24411/0235-2451-2019-10214.
2. Скороспелова Е.В., Михайлова О.Ю., Шелковская Н.К. Технологические аспекты производства протертых масс без сахара на основе плодового и ягодного сырья алтайского сортимента // Ползуновский вестник. 2022. № 4. Т. 1. С. 100–105. DOI : 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.04.012.
3. Жидехина Т.В., Попов А.С. Реализация потенциала продуктивности интродуцированных сортов кизила в условиях Тамбовской области // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2015. № 31 (1). С. 81–89.
4. Popovic B.M., Štajner D., Slavko K., Sandra B. Antioxidant capacity of cornelian cherry (*Cornus mas* L.) – Comparison between permanganate reducing antioxidant capacity and other antioxidant methods // Food Chemistry, 2012. Vol. 134(2). pp. 734–741. DOI : 10.1016/j.foodchem.2012.02.170.
5. Deng S., West B.J., Jensen C.J. UPLC-TOF-MS characterization and identification of bioactive iridoids in *Cornus mas* fruit // Journal of Analytical Methods in Chemistry, Vol. 2013, Article ID 710972, 7 pages, 2013. DOI : 10.1155/2013/7109722013.
6. Перова И.Б., Жогова А.А., Полякова А.В., Эллер К.И., Раменская Г.В., Самылина И.А. Биологически активные вещества плодов кизила (*Cornus mas* L.) // Вопросы питания. 2014. Т. 83. № 5. С. 86–94.
7. Turker A.U., Yildirim A.B., Karakas F.P. Antibacterial and antitumor activities of some wild fruits grown in Turkey // Biotechnology & Biotechnological Equipment, 2012. Vol. 26(1). pp. 2765–2772. DOI : 10.5504/BBEQ.2011.0156.
8. Milenković-Andjelković A.S., Andjelković M.Z., Radovanović A.N., Radovanović B.C., Nikolić V. Phenol composition, DPPH radical scavenging

and antimicrobial activity of cornelian cherry (*Cornus mas*) fruit and leaf extracts // *Hemijaska Industrija*, 2015. Vol. 69(4). pp. 331–337. DOI : 10.2298/HEMIND140216046M.

9. Yousefi B., Abasi M., Abbasi M.M., Jahanban-Esfahlan R. Anti-proliferative properties of *Cornus mas* fruit in different human cancer cells // *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 2015. Vol. 16(14). pp. 5727–5731. DOI : 10.7314/apjcp.2015.16.14.5727.

10. Moldovan B., Filip A., Clichici S., Suharschi R., Bolfa P., David L. Antioxidant activity of Cornelian cherry (*Cornus mas* L.) fruits extract and the in vivo evaluation of its anti-inflammatory effects // *Journal of Functional Foods*, 2016. Vol. 26. pp. 77–87. DOI : 10.1016/j.jff.2016.07.004.

11. Pieme C.A., Tatangmo J.A., Simo G., Biapa Nya P.C., Ama Moor V.J., Moukette Moukette B., Sobngwi E. Relationship between hyperglycemia, antioxidant capacity and some enzymatic and nonenzymatic antioxidants in African patients with type 2 diabetes // *BMC Research Notes*, 2017. 10(1):141. DOI : 10.1186/s13104-017-2463-6.

12. Тутельян В.А. Нутрициология и клиническая диетология : национальное руководство / под ред. В.А. Тутельяна, Д.Б. Никитюка. Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2020. 656 с.

13. Martinović A., Cavoski I. The exploitation of cornelian cherry (*Cornus mas* L.) cultivars and genotypes from Montenegro as a source of natural bioactive compounds // *Food Chemistry*, 2020. Vol. 318: 126549. DOI : 10.1016/j.foodchem.2020.126549.

14. Kucharska A.Z., Szumny A., Sokół-Łętowska A., Piórecki N., Klymenko S.V. Iridoids and anthocyanins in cornelian cherry (*Cornus mas* L.) cultivars // *Journal of Food Composition and Analysis*, 2015. Vol. 40. pp. 95–102. DOI : 10.1016/j.jfca.2014.12.016.

15. Seeram N.P., Schutzki R., Chandra A., Nair M.G. Characterization, quantification, and bioactivities of anthocyanins in *Cornus* species // *J. Agric. Food Chem.*, 2002. Vol. 50(9). pp. 2519–2523. DOI : 10.1021/jf0115903.

16. Tural S., Koca I. Physico-chemical and antioxidant properties of cornelian cherry fruits (*Cornus mas* L.) grown in Turkey // *Scientia Horticulturae*, 2008. Vol. 116(4). pp. 362–366. DOI : 10.1016/j.scienta.2008.02.003.

17. Pawlowska A.M., Camangi F., Braca A. Quali-quantitative analysis of flavonoids of *Cornus mas* L. (Cornaceae) fruits *Food Chemistry*, 2010. Vol. 119(3). pp. 1257–1261. DOI : 10.1016/j.foodchem.2009.07.063.

18. Попова А.Ю., Тутельян В.А., Никитюк Д.Б. О новых (2021) Нормах физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации // *Вопросы питания*, 2021. Т. 90. № 4. С. 6–19. DOI : 10.33029/0042-8833-2021-90-4-6-19.

19. Саласина Я.Ю., Скрыпников Н.С., Дейнека В.И., Дейнека Л.А. Строение антоцианов плодов кизила обыкновенного (*Cornus mas*) // *Химия растительного сырья*, 2022. № 4. С. 163–170. DOI : 10.14258/jcrpm.20220411026.

20. Begic-Akagic A., Drkenda P., Vranac A., Orazem P., Hudina M. Influence of growing region

and storage time on phenolic profile of cornelian cherry jam and fruit // *European Journal of Horticultural Science*, 2013. Vol. 78(1). pp. 30–39.

21. Drkenda P., Spahić A., Begić-Akagić A., Gaši F., Vranac A., Hudina M., Blanke M. Pomological characteristics of some autochthonous genotypes of cornelian cherry (*Cornus mas* L.) in Bosnia and Herzegovina // *Erwerbs-Obstbau*, 2014. Vol. 56. pp. 59–66. DOI : 10.1007/s10341-014-0203-9.

22. Dzydzan O., Bila I., Kucharska A.Z., Brodyak I., Sybirna N. Antidiabetic effects of extracts of red and yellow fruits of cornelian cherries (*Cornus mas* L.) on rats with streptozotocin-induced diabetes mellitus // *Food & Function*, 2019. Vol. 16(10). pp. 6459–6472. DOI : 10.1039/C9FO00515C.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

М. Ю. Акимов – доктор сельскохозяйственных наук, директор ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина».

Т. В. Жидехина – кандидат сельскохозяйственных наук, зам. директора ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина».

Е. В. Жбанова – доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биохимии и пищевых технологий ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина».

В. А. Кольцов – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории передовых послеуборочных технологий ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина».

А. М. Миронов – младший научный сотрудник лаборатории передовых послеуборочных технологий ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина».

REFERENCES

1. Akimov, M.Yu., Makarov, V.N. & Zhbanova, E.V. (2019). The role of fruits and berries in providing a person with vital biologically active substances. Achievements of science and technology of the agro-industrial complex, 33(2), 56-60. (In Russ.). DOI : 10.24411/0235-2451-2019-10214.

2. Skorospelova, E.V., Mikhailova, O.Yu. & Shelkovskaya, N.K. (2022). Technological aspects of sugar free puree production from fruit and berry raw material of altai varieties. *Polzunovskiy vestnik*, 4(1), 100-105. (In Russ.). DOI : 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.04.012.

3. Zhidyokhina, T.V. & Popov, A.C. (2015). Realization of productivity potential of introduced varieties of cornelian cherry under conditions of Tambov region. *Fruit growing and viticulture*, (1), 81-89. (In Russ.).

4. Popovic, B.M., Štajner, D., Slavko, K. & Sandra, B. (2012). Antioxidant capacity of cornelian cherry (*Cornus mas* L.) - Comparison between permanganate reducing antioxidant capacity and other antioxidant methods. *Food Chemistry*, 134(2), 734-741. DOI : 10.1016/j.foodchem.2012.02.170.

5. Deng, S., West, B.J. & Jensen, C.J. (2013). UPLC-TOF-MS characterization and identification of

bioactive iridoids in *Cornus mas* fruit. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, vol. 2013, Article ID 710972, 7 p. DOI : 10.1155/2013/7109722013.

6. Perova, I.B., Zhogova, A.A., Polyakova, A.V., Eller, K.I., Ramenskaya, G.V. & Samylina, I.A. (2014). Biologically active substances of cornelian cherry fruits (*Cornus mas* L.). *Problems of Nutrition*, 83(5). 86-93. (In Russ.).

7. Turker, A.U., Yildirim, A.B. & Karakas, F.P. (2012). Antibacterial and antitumor activities of some wild fruits grown in Turkey. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*. 26(1). 2765-2772. DOI : 10.5504/BBEQ.2011.0156.

8. Milenković-Andjelković, A.S., Andjelković, M.Z., Radovanović, A.N., Radovanović, B.C. & Nikolić, V. (2015). Phenol composition, DPPH radical scavenging and antimicrobial activity of cornelian cherry (*Cornus mas*) fruit and leaf extracts. *Hemijaska Industrija*, 69(4). 331-337. DOI : 10.2298/HEMIND140216046M.

9. Yousefi, B., Abasi, M., Abbasi, M.M. & Jahanban-Esfahlan, R. (2015). Anti-proliferative properties of *Cornus mass* fruit in different human cancer cells. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 16(14). 5727-5731. DOI : 10.7314/apjcp.2015.16.14.5727.

10. Moldovan, B., Filip, A., Clichici, S., Suharoschi, R., Bolfa, P. & David, L. (2016). Antioxidant activity of Cornelian cherry (*Cornus mas* L.) fruits extract and the in vivo evaluation of its anti-inflammatory effects. *Journal of Functional Foods*, 26. 77-87. DOI : 10.1016/j.jff.2016.07.004.

11. Pieme, C.A., Tatangmo, J.A., Simo, G., Biapa Nya, P.C., Ama Moor, V.J., Moukette Moukette, B. & Sobngwi, E. (2017). Relationship between hyperglycemia, antioxidant capacity and some enzymatic and non-enzymatic antioxidants in African patients with type 2 diabetes. *BMC Research Notes*, 10(1):141. DOI : 10.1186/s13104-017-2463-6.

12. Tutelyan, V.A. Nutrition and clinical dietology: national guide / ed. V.A. Tutelyan, D.B. Nikityuk. Moscow : GEOTAR-Media, 2020. 656 p.

13. Martinović, A. & Cavoski, I. (2020). The exploitation of cornelian cherry (*Cornus mas* L.) cultivars and genotypes from Montenegro as a source of natural bioactive compounds. *Food Chemistry*, 318: 126549. DOI : 10.1016/j.foodchem.2020.126549.

14. Kucharska, A.Z., Szumny, A., Sokół-Lętowska A., Piórecki, N. & Klymenko, S.V. (2020). Iridoids and anthocyanins in cornelian cherry (*Cornus mas* L.) cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*, 40. 95-102. DOI : 10.1016/j.jfca.2014.12.016.

15. Seeram, N.P., Schutzki, R., Chandra, A. & Nair, M.G. (2002). Characterization, quantification, and bioactivities of anthocyanins in *Cornus* species. *J. Agric. Food Chem.*, 50(9). 2519-2523. DOI : 10.1021/jf01115903.

16. Tural, S. & Koca, I. Physico-chemical and antioxidant properties of cornelian cherry fruits (*Cornus mas* L.) grown in Turkey (2008). *Scientia Horticulturae*, 116(4), 362-366. DOI : 10.1016/j.scienta.2008.02.003.

17. Pawlowska, A.M., Camangi, F. & Braca, A. Quali-quantitative analysis of flavonoids of *Cornus mas* L. (Cornaceae) fruits. (2010). *Food Chemistry*, 119(3). 1257-1261. DOI : 10.1016/j.foodchem.2009.07.063.

18. Popova, A.Yu., Tutelyan, V.A. & Nikityuk, D.B. (2021). On the new (2021) Norms of physiological requirements in energy and nutrients of various groups of the population of the Russian Federation. *Problems of Nutrition*, 90(4), 6-9. (In Russ.). DOI : 10.33029/0042-8833-2021-90-4-6-19.

19. Salasina, Ya.Yu., Skrypnikov, N.S., Deineka, V.I. & Deineka, L.A. (2022). Plant chemistry 4, 163-170. (in Russ.). DOI : 10.14258/jcpr.20220411026.

20. Begic-Akagic, A., Drkenda, P., Vranac, A., Orazem, P. & Hudina, M. (2013). Influence of growing region and storage time on phenolic profile of cornelian cherry jam and fruit. *European Journal of Horticultural Science*. 78(1). 30-39.

21. Drkenda, P., Spahić, A., Begić-Akagić, A., Gaši, F., Vranac, A., Hudina, M. & Blanke, M. (2014). Pomological characteristics of some autochthonous genotypes of cornelian cherry (*Cornus mas* L.) in Bosnia and Herzegovina. *Erwerbs-Obstbau*. 56. 59-66. DOI : 10.1007/s10341-014-0203-9.

22. Dzydzan, O., Bila, I., Kucharska, A.Z., Brodyak, I. & Sybirna, N. (2019). Antidiabetic effects of extracts of red and yellow fruits of cornelian cherries (*Cornus mas* L.) on rats with streptozotocin-induced diabetes mellitus. *Food & Function*. 16(10). 6459-6472. DOI : 10.1039/C9FO00515C.

Information about the authors

M. Yu. Akimov - D. Sc. (Agriculture), Director I.V. Michurin Federal Science Center.

T. V. Zhidekhina - Ph. D. (Agriculture), deputy director for science, I.V. Michurin Federal Science Center.

Ye. V. Zhanova - D. Sc. (Agriculture), Leading Research Associate, I.V. Michurin Federal Science Center.

V. A. Koltsov - Ph. D. (Agriculture), Senior Research Associate, I.V. Michurin Federal Science Center.

A. M. Mironov - Junior Research Associate, I.V. Michurin Federal Science Center.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 17 мая 2023; одобрена после рецензирования 18 сентября 2023; принята к публикации 20 ноября 2023.

The article was received by the editorial board on 17 May 2023; approved after editing on 18 Sep 2023; accepted for publication on 20 Nov 2023



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК664

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.014



TOTAL PHENOLIC CONTENT AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF SPANISH SAGE (*SALVIA HISPANICA L.*) INTRODUCED IN THE RUSSIAN FEDERATION

Yemane H. Gebremeskal¹, Liudmila A. Nadtochii², Nina G. Kazydub³, Roman V. Chernov⁴, Weihong Lu⁵

^{1,2} International Research Center “Biotechnologies of the Third Millennium” ITMO University, Saint Petersburg, Russia

¹ Food Science and Technology Department, Hamelmalo Agricultural College, National Higher Education and Research Institute, Asmara, Eritrea

² Saint Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University, Saint Petersburg, Russia

^{3,4} Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russia

⁵ Harbin Institute of Technology, Harbin, China

¹ yemun27@gmail.com or yhgebremeskal@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6520-1415>

² l_tochka@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4678-8177>

³ <https://orcid.org/0000-0002-2234-9647>

⁴ <https://orcid.org/0009-0008-1010-2584>

⁵ <https://orcid.org/0000-0002-3875-7012>

Abstract. Chia (*Salvia hispanica L.*) is an annual herbaceous plant belongs to the Lamiaceae family. Considering the consumer's interest in healthy and nutritious foods, the cultivation of chia crop has been globally extended. The current study consists in the creation of introduced varieties of chia in the Russian Federation and the interrelation of environmental factors of southern forest-steppe of Western Siberia. This crop has been cultivated in Mexico since ancient times, while in Russia it has not been grown yet. Until the present, numerous previous studies have focused on the study of a single morphological part of chia plant and especially on the seeds, sometimes on leaves and never on stems. The objective of this study was to determine the total phenolic content (TPC) and its antioxidant activity of chia Seeds, Stems and Leaves (chia SSL). The total phenolic content was measured by the FolinCiocalteu method with some modification to adapt the assay to 96-well microplates, using gallic acid as standard while the antioxidant capacity was based on the ability of these plant extracts (chia SSL) to scavenge DPPH radical. 70% TPC methanol extraction and 70 % TPC ethanol extraction were compared, with exception of chia seeds extracts significant differences were found in chai leaves and chia stems. High total phenolic content was detected in Chia leaves (9.183 ± 0.0625 mg GAE/g methanol extract and 7.809 ± 0.157 mg GAE/g ethanol extract), more than 3.2-fold higher than previously reported, followed by chia Stems (7.819 ± 0.225 mg GAE/g methanol extract and 6.695 ± 0.626 mg GAE/g ethanol extract) for the first time determined, and chia Seeds (1.669 ± 0.079 mg GAE/g methanol extract and 1.614 ± 0.040 mg GAE/g ethanol extract) higher than previous report. Chai Leaves (92.24%) exhibited the strongest antioxidant capacity followed by chia Stems (74.43%) and chia Seeds (41.35%). Indeed, 70% ethanol and 70% methanol extracts showed similar DPPH scavenging activity. It can be concluded that the surveyed parts of the Russian-Siberia grown chia plants could be potential sources of high phenolic content and antioxidant agents.

Keywords: antioxidant activity; chia, *Salvia hispanica L.*, solvent extraction, total phenolic content.

For citation: Yemane, H. G., Liudmilla, A. N., Nina G. K., Roman, V. C., Weihong, L. (2023). Total phenolic content and antioxidant activity ofspanish sage (*Salvia Hispanica L.*). Introduced in the Russian Federation. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 110-117. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.013. EDN: <https://elibrary.ru/NUBPZV>.

Оригинальная статья

ОБЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛОВ И АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ШАЛФЕЯ ИСПАНСКОГО (*SALVIA HISPANICA L.*), ИНТРОДУЦИРОВАННОГО В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Емане Хабтемайкл Гебремескал¹, Людмила Анатольевна Надточий²,
Нина Григорьевна Казыдуб³, Роман Валерьевич Чернов⁴, Вэйхонг Лу⁵

^{1,2} Международный исследовательский центр “Биотехнологии третьего тысячелетия” Университета ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

¹ Факультет пищевых наук и технологий, Сельскохозяйственный колледж Хамельмало, Национальный институт высшего образования и исследований, Асмэра, Эритрея

² Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет, Санкт-Петербург, Россия

^{3,4} Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, Омск, Россия

⁵ Харбинский технологический институт, Харбин, Китай

¹ yemun27@gmail.com или yhgebremeskal@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6520-1415>

² l_tochka@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4678-8177>

³ <https://orcid.org/0000-0002-2234-9647>

⁴ <https://orcid.org/0009-0008-1010-2584>

⁵ <https://orcid.org/0000-0002-3875-7012>

Аннотация. Чиа (*Salvia hispanica L.*) – однолетнее травянистое растение, относящееся к семейству ламиевых. Учитывая интерес потребителей к здоровым и питательным продуктам, выращивание культуры чиа было расширено во всем мире. Текущее исследование заключается в создании интродуцированных сортов чиа в Российской Федерации и взаимосвязи факторов окружающей среды южной лесостепи Западной Сибири. Эта культура культивируется в Мексике с древних времен, в то время как в России ее еще не выращивали. До настоящего времени многочисленные предыдущие исследования были сосредоточены на изучении одной морфологической части растения чиа и особенно на семенах, иногда на листьях и никогда на стеблях. Целью данного исследования было определить общее содержание фенолов (TPC) и их антиоксидантную активность в семенах, стеблях и листьях чиа (*chia SSL*). Общее содержание фенолов измеряли методом Фолина Чокальто с некоторой модификацией для адаптации анализа к 96-луночным микропланшетам, используя галловую кислоту в качестве стандарта, в то время как антиоксидантная способность была основана на способности этих растительных экстрактов (*chia SSL*) поглощать радикал DPPH. Сравнивали 70%-ную экстракцию метанолом и 70%-ную экстракцию этанолом, за исключением экстрактов семян чиа, существенные различия были обнаружены в листьях чая и стеблях чиа. Высокое общее содержание фенолов было обнаружено в листьях чиа ($9,183 \pm 0,0625$ мг GAE/г экстракта метанола и $7,809 \pm 0,157$ мг GAE/г экстракта этанола), что более чем в 3,2 раза выше, чем сообщалось ранее, за которыми следуют стебли чиа ($7,819 \pm 0,225$ мг GAE/г экстракта метанола и $6,695 \pm 0,626$ мг GAE/г этанольного экстракта) впервые определено, а семена чиа ($1,669 \pm 0,079$ мг GAE/г метанольного экстракта и $1,614 \pm 0,040$ мг GAE/г этанольного экстракта) выше, чем в предыдущем отчете. Листья чая (92,24 %) обладали наибольшей антиоксидантной активностью, за ними следовали стебли чиа (74,43 %) и семена чиа (41,35 %). Действительно, экстракты 70 % этанола и 70 % метанола показали сходную активность по удалению DPPH. Можно сделать вывод, что исследованные части растений чиа, выращенных в России и Сибири, могут быть потенциальными источниками высокого содержания фенолов и антиоксидантов.

Ключевые слова: антиоксидантная активность; чиа, *Salvia hispanica L.*, экстракция растворителем, общее содержание фенолов.

Для цитирования: Общее содержание фенолов и антиоксидантная активность шалфея испанского (*SALVIA HISPANICA L.*), интродуцированного в Российской Федерации / Е. Х. Гебремескал [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 4, С. 110–109. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.014. EDN: <https://elibrary.ru/NUBPZV>.

1. Introduction

Spanish Sage (*Salvia hispanica* L.) commonly known as chia, is an annual plant of Lamiaceae family. It is cultivated as a native plant crop in Southern Mexico and Northern Guatemala [1]. In 2009, chia seeds were approved as a novel food by the European Union, and can be used up to 5% in bread making [1]. As a consequence, industrial production of chia seeds and food products containing chia seeds has been rapidly growing in many parts around the world including Mexico, Argentina, Australia, Bolivia, Colombia, Ecuador, Nicaragua and Paraguay [2]. Chia seeds contain a high amount of dietary fiber superior quality protein, omega-3 fatty acids, vitamins, minerals and wide range of phenolic antioxidants [3], [4], [5]. It contains a high content of oil (25–32%), protein (18.5–22.3%) and fiber (20.1–36.15%), as well as 59.9–63.2% of Alpha-linolenic acid (ALA) and 18.9–20.1% of linoleic acid [3]. Furthermore, Scapim et al., [6] and Kobus-cisowska et al., [7] stated that the chemical composition of each product can vary due to different factors such as year of cultivation, environment of cultivation, and extraction method used. Majority of the species from genus *salvia* have horticultural and homeopathic character as a basis of numerous biological active substances, like phenolic compounds, such as caffeic acids and chlorogenic as well as flavonoids, namely myricetin, quercetin and kaempferol [8].

Phenolic compounds are extensively distributed in plants and serve as important components in our daily diets. As secondary metabolites, phenolics are synthesized in plants from phenylalanine and to a lesser extent tyrosine during normal growth and development as well as in response to stress conditions [9] [10]. In plants, phenolics have multiple functions from general fitness regulation to defense mechanisms against insects, pathogens, UV light and extreme environmental conditions [9]. Phenolics are also responsible for the bitterness and astringency, colour, odour, and oxidative stability of foods [10]. As dietary bioactive, phenolics and polyphenolics exhibit various functional and biological activities but these actions depend on their chemical structures [11], [12].

Up to now more than 8000 phenolic compounds have been recognized in seeds, fruits, vegetables, and related products. Most common phenolics are simple phenols, phenolic acids and their derivatives, flavonoids and their derivatives, coumarins, stilbenes, lignans and their polymerized counterparts like tannins and lignins [10]. Phenolics and polyphenolics are known as powerful antioxidants that inhibit oxidative deterioration of foods and may protect

human body against oxidative stress-mediated diseases. Phenolics are excellent free radical scavengers, metal chelators, singlet oxygen quenchers, reducing agents and synergists with other antioxidants. They prevent oxidation of biomolecules such as LDL-cholesterol, membrane lipids, proteins, and DNA and diminish related disorders such as inflammation, carcinogenesis and atherosclerosis [13]. Due to high diversity of secondary metabolites like phenolic compounds, chia seeds possess excellent antioxidant capacity as well as antimicrobial activity and are also used against several pathological disorders, cardiovascular diseases, diabetes, antiviral, antifungal, anticancerogenic, cancer and anti-inflammatory properties [14].

Unlike chia seed research, a few studies deal with chia plant leaves composition and antimicrobial properties [15], [16]. Elshafie et al., [16] reported that the principal constituents of essential oil extracted from aerial parts of this plant were sesquiterpenes with a mainstream of caryophyllenes. Furthermore, the authors determined that this product could be potentially used for microbial control regarding the antimicrobial effect.

The massive nutritional and therapeutic potential of chia plant is little known, chia plant offers a great future perspective for feed, food, medical, pharmaceutical and nutraceutical sectors [17]. The present study aimed to explore the total phenolic contents of introduced samples of Spanish sage (*Salvia hispanica* L.) in Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russia, through the Folin-Ciocalteu (FC) method, of chia plant seeds, leaves and stems extracts, obtained using good polarity solvents, and to compare methanol and ethanol extraction. Moreover, this study also aimed to identify the antioxidant capacity (AC) of chia plant seeds, leaves and stems extracts of by 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), and further use of the extracts in the food industry.

2. Materials and methods

2.1. Chemicals and Reagents

Methanol (99.99%), ethanol (99%), Folin-Ciocalteu (FC), Sodium carbonate, DPPH (1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazine), gallic acid, all obtained from Chem Express (Russia). Deionized water, were used for dilutions for all measurements and all chemicals used in this study were of analytical or food grade.

2.2. Cultivation, Sampling and Drying of Chia Plants

The plant, Chia seeds, stems and leaves (Chia SSL) used in this study were cultured at the experimental field belonging to the Omsk

TOTAL PHENOLIC CONTENT AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF SPANISH SAGE (SALVIA HISPANICA L.) INTRODUCED IN THE RUSSIAN FEDERATION

State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russia. The culture was done in the conditions of Western Siberia, it blooms in July-August, the seeds ripen in September-October by triplicate. The samples were taken to the laboratory of the department of Agronomy within the same day, and the green mass and the seeds of chia were manually separated from extraneous matter, labeled, and dried at 35°C in the stove until constant weight. Then after, chia SSL samples were ground in the laboratory of International Research Center "Biotechnologies of the Third Millennium", ITMO National Research University, Saint Petersburg, Russia using mill A11 basic BS32 IKA Mill, São Paulo, for 10 s and repeated 5-6 times. The chia SSL powders were passed through a sieve mesh 40 (0.420 mm). The samples were stored in sealed bags at -20 °C in airtight bags until being used.

2.3. Preparation of TPC extracts

The TPC were extracted using the methods proposed by Martínez-Cruz and Paredes-López [18] with some modifications. A mass of 0.5 g of chia seeds, leaves and stems were extracted with 3 mL of aqueous methanol (methanol: water, 70:30 v/v), (ethanol: water, 70:30 v/v) for 24 h at 25°C under mechanical shaking, in triplicate. The mixture was centrifuged at 6,000 rpm for 10 min, and the supernatant was stored at -20°C until further analysis.

2.4. Total phenolic content

TPC was determined by the Folin-Ciocalteu assay following previously reported protocols Martínez-Cruz and Paredes-López [18] with some modifications to adapt the assay to 96-well microplates. Briefly, 237 µL of water and 3 µL of the crude extract were mixed with 15 µL of water-diluted Folin-Ciocalteu reagent (1:1, v/v). Then, 45 µL of sodium carbonate (7.5% w/v) were added and the mixture was incubated for 2 h at ambient temperature (25°C). The absorbance was measured at 760 nm in a Benchmark plus microplate spectrophotometer reader (Bio-rad, Hercules, CA) and compared with a previously prepared gallic acid calibration curve. The total phenolic content was expressed as gallic acid equivalents (GAE) in milligrams per gram sample (mg GAE/g of Chia SSL). A calibration curve ranging from 20 to 200 µg ml⁻¹ was used to quantify the TPC content in the seed extracts. All the measurements were performed in triplicate for each sample analyzed.

2.5. DPPH Radical Scavenging Activity

DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) assay was performed as described by Corral-Aguayo

[19]. Briefly, aliquots of 280 µL of 100 µM DPPH/methanol solution and 20 µL of crude extracts were added to a 96-well plate. Twenty microliters of methanol were placed in the first row as a blank. The plates were incubated for 30 min in the dark and absorbance was read at 517 nm in a Benchmark plus microplate spectrophotometer reader (Bio-rad), the measurements were performed in triplicate. Antioxidant activity was expressed as an inhibition percent of DPPH radical and calculated from the equation:

$$(\%) \text{ Inhibition} = \frac{[(\text{Abs control} - \text{Abs sample})]}{(\text{Abs control})} \times 100$$

3. Results and discussion

Chia seeds are considered a good source of different components, particularly due to mainly the crop, and environmental and agronomic factors. In this work, a phytochemical analysis of the components of chia seed, chia stems and Chia leaves from Russian Federation grown in Western Siberia was carried out, with the aim of determining its phenolic composition, antioxidant activity and its potential benefits for human health. Our results describe that the main components and functional activities are biological active substances like phenolic component, reinforcing the concept of chia as a complete and functional food. Studies on the chemical components of plant products are always a challenge, as a huge number of different families of compounds can be existing, in different concentrations and in different forms, specifically in a free form or linked to other constituents from the cell walls. The lack of data concerning the chemical composition of chia plant products is recognized. As the usage of chia plant products is growing, it is significant to undergo research studies to determine the biological active substances of chia plant seeds, stems and leaves. In an attempt to support in the analysis of the total phenolic constituents existing in the crude extracts, they were subjected to 70% ethanol and 70% methanol solvents, and technology. The extraction process can be used for different purposes, depending on when it is applied. In our study the 70% aqueous methanol extract, 70% aqueous ethanol extract, mechanical shaking, centrifuge and spectrophotometer were applied to determine the total phenolic content and to analyze their antioxidant capacity. The total phenolic content (GAE/g) expressed as gallic acid equivalents of methanol extract sample mg/g of chia grown in Russian-Western Siberia, Chia SSL extracts and antioxidant activity are expressed in percentages. Values are the mean ± SD of three determinations.

3.1. Total phenolic contents

Results obtained for total phenolic content (TPC) of Spanish Sage seeds extracted by 70% methanol extract and 70% ethanol extract were 1.669 ± 0.079 mg GAE/g and 1.614 ± 0.040 mg GAE/g respectively.

The total polyphenolic content of Spanish Sage seeds found in this study was higher compared to the values reported by Porrás-Loaiza et al., [20], which evaluated the phenolic content of Spanish Sage seeds from different locations in Mexico and reported an average of 0.9, respectively 0.66 mg GAE/g. The result is in accordance with Martínez-Cruz and Paredes- López [18] 1.64 mg GAE/g sample. Moreover, this result is comparatively higher than the data already reported in literature by Falco et al. 0.50 [21], Amato et al. 0.530 mg GAE/g chia seeds [22]. However, the value obtained by 70% methanol and 70% ethanol extraction were lower compared to the data reported by da Silva Marineli et al., [23], Saphier et al., [23]: 1.99 mg GAE/g sample, and Yi Ding et al., [24]: 2.39 mg GAE/g sample. Furthermore, this value is higher than the data reported for mango (0.560 mg GAE/g), papaya (0.576 mg GAE/g), and pineapple (0.0258 mg GAE/g) [25]. As chia plant is consumed in parallel with cereals or replacing them in the human diet it is interesting to compare the results obtained in our study with the content reported for cereals. The TPC in the crude extracts of Spanish Sage seeds were higher than those reported by Irakli et al., [26], for extracts of barley (*Hordeum vulgare*, 0.37 mg GAE/g), oat (*Avena sativa*, 0.39 mg GAE/g), rice (*Oryza sativa*, 0.24 mg GAE/g) and corn (*Zea mays*, 0.15 mg GAE/g).

Total phenolic content of Spanish Sage plant-leaves were 9.183 ± 0.0625 mg GAE/g methanol extract and 7.809 ± 0.157 mg GAE/g ethanol extract. Generally, TPC of the green mass of Spanish Sage plantis rarely studied. TPC of Spanish sage plant leaves is more than 3.2-fold higher than reported in literature by Wong et al., [27] 2.43 mg GAE/g *Schismatoglottisahmadii* (Leaf) ethanolic extract. However, it is lower than reported by J. Y. Wong et al., 10.61 ± 3.12 *Aniseiamartinicense* (Leaf) ethanolic extract [27].

Total phenolic content of Spanish Sage stems in methanol extracts was 7.819 ± 0.225 mgGAE/g and in ethanol extracts was 6.695 ± 0.626 mg GAE/g. As we have explored for the literature, it is for the first time determined from chia stem plant. This result is more than 2-fold than edible plant extracts like *Heckeriaumbellatum* (Stem) methanolic extract $2.88 \text{ mg} \pm 0.59$ GAE/g and 2.06 ± 0.28 ethanolic extract reported by Wong et al., [27].

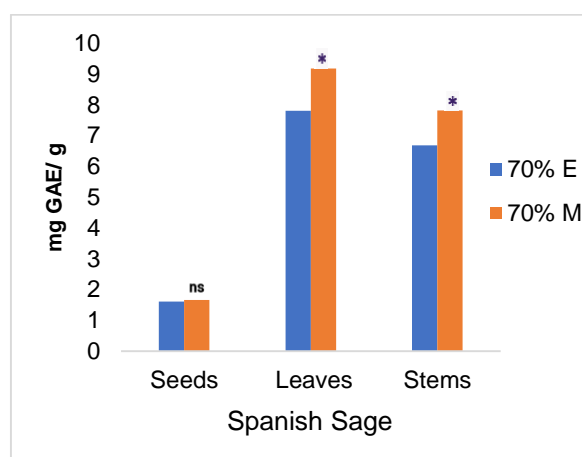


Figure 1 – Total phenolic content (as mg of gallic acid per 1.0 g sample) in Spanish Sage seeds, leaves and stems, obtained from extraction 70% ethanol (E) and methanol (M).

* Isstatistically significant ($p < 0.05$), and ns, is no significant difference ($p > 0.05$)

Рисунок 1 – Общее содержание фенолов (в мг галловой кислоты на 1,0 г образца) в семенах, листьях и стеблях испанского шалфея, полученных путем экстракции 70 % этанолом (E) и метанолом (M).

* Является статически значимым ($p < 0,05$), а ns – не имеет существенной разницы ($p > 0,05$).

Figure 1 shows that a higher total phenolic content was obtained by 70 % methanol extraction of various parts of the Spanish sage plant (seeds, stems and leaves) compared with ethanol extraction: the result for seeds, leaves and stems of the plant was 0.055; 1.374 and 1.124 mg GAE/g of the extract. Moreover, it was found that the total content of phenolic compounds has the highest value in methanol extracts from plant leaves (9.183 ± 0.0625 mg GAE/g of extract), which exceeds the studied indicator in stems by 1.364 and in seeds by 7.514 mg GAE/g of methanol extract, respectively.

3.2. Antioxidant activity

The results of the antioxidant activity of chia seeds obtained in this research ($41.35 \pm 0.2\%$) are shown in Figure 2 and it is in harmony with the DPPH radical scavenging activity of *Salvia hispanica* species such as *Salvia caespitosa*, 41.3%; *Salvia hypargeia*, 34.6%; and *Salvia candidissima* subsp. *Candidissima*, 49.7% reported by Tepe et al., [28].

The DPPH radical scavenging activity of the Spanish sage plant leaves ($92.24 \pm 0.3\%$) is

TOTAL PHENOLIC CONTENT AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF SPANISH SAGE (*SALVIA HISPANICA L.*) INTRODUCED IN THE RUSSIAN FEDERATION

in accordance with the DPPH radical scavenging activity of the Lamiaceae family has already been described in species such as *Salvia officinalis* ($92.3 \pm 0.5\%$), *Salvia sclarea* ($92.9 \pm 0.4\%$), *Salvia glutinosa* ($91.5 \pm 0.5\%$) and *Salvia pratensis* ($93.0 \pm 0.5\%$ IDPPH) by Miliauskas et al., [29]. Additionally, this result is 1.5-fold higher than the inhibition percentage reported by Zuniga-Lopez et al. [30]. The antioxidant activity of Chia plant stem was for the first determined ($74.43 \pm 0.3\%$). Generally, the DPPH radical scavenging activity of chia SSL showed high inhibition percentage.

Natural antioxidants from plant materials are mainly polyphenols (phenolic acids, flavonoids, anthocyanins, lignans and stilbenes), carotenoids (xanthophylls and carotenes) and vitamins (vitamin E and C) [31][32]. The high antioxidant capacity of chia SSL detected could be attributed to the presence of phenolic compounds. Our result was in harmony with the previous report like Kahkonen et al., [33] showed variation in phenolic content between different parts of different trees.

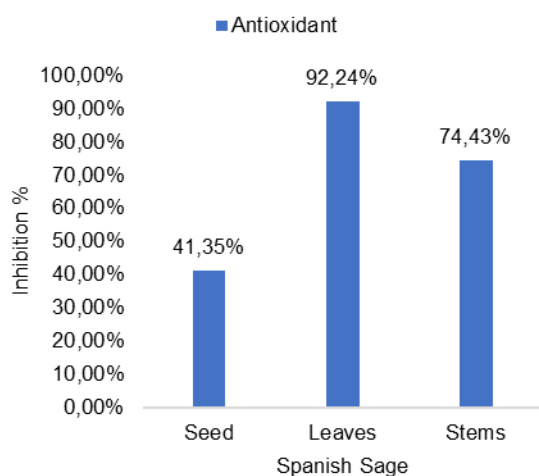


Figure 2 – Antioxidant capacity of chia SSL extracts

Рисунок 2 – Антиоксидантная способность экстрактов семян chia

Figure 2 shows the highest antioxidant activity in the leaves of the Spanish sage plant (92.24%), surpassing this indicator in the stems of the plant by 17.81% and chia seeds by 50.89%.

4. Conclusions

The result of the chia plant (Spanish Sage seeds, leaves and stems) introduced to Russian Federation, which was grown in southern forest-

steppe of Western Siberia shows high phenolic content and antioxidant capacity. The results exhibited that the phenolic content in *Salvia hispanica L.* seeds can be extracted with ethanol and methanol solutions. The ethanolic extract and methanolic extract of chia leaves and stems showed significant difference, while for the chia seeds there was no significant difference. Furthermore, in this study the leaves and stems showed higher TPC and antioxidant activity as compared to other edible plants and in comparison, with in the Spanish Sage plants, green leaves quantified higher TPC and antioxidative activities followed by chia stems and chia seeds. Thus, this study supplies new information of the chia SSL introduced in the Russian federation about the main phenolic content present in chia products, which are important dietary sources of natural antioxidants for prevention of diseases caused by oxidative stress. The phenolic compounds found in these samples may decrease the invasiveness of cancer cells, remove ROS (reactive oxygen species) and improve the clinical outcome. Nevertheless, it is necessary to evaluate the antioxidant activity against oxidative injury including absorption mechanism of the phenolic compounds in vitro and in vivo assays. As indicated with the results of chia seeds in combination with yogurt in our previous study reported by L.A. Nadochii et al., [34], these Spanish Sage plant seeds, stems and leaves can be used as ingredients for functional food and for food supplements production due to the high bioactive properties. Moreover, the consumption of chia seeds can be an important alternative to improve consumer's health, and the results obtained suggest its use as a functional food in human daily diet.

Acknowledgements

The authors express their gratitude to International Research Center "Biotechnologies of the Third Millennium", ITMO National Research University, Saint Petersburg, Russia for the facilities provided for the lab analysis.

REFERENCES

1. M.R. Segura-Campos, et al. "Physicochemical characterization of chia (*Salvia hispanica*) seed oil from Yucatán, México," *Agricultural Sciences*, vol. 5, no. 3, pp. 220-226, Feb. 2014. doi : 10.4236/AS.2014.53025.
2. Y.P. Timilsena, J. Vongsvivut, R. Adhikari, and B. Adhikari. "Physicochemical and thermal characteristics of Australian chia seed oil," *Food Chem*, vol. 228, pp. 394-402, 2017. doi : 10.1016/j.foodchem.2017.02.021.

3. P. Porras-Loaiza, M.T. Jiménez-Munguía, M. E. Sosa-Morales, E. Palou and A. López-Malo. "Physical properties, chemical characterization and fatty acid composition of Mexican chia (*Salvia hispanica* L.) seeds," *Int J Food Sci Technol*, vol. 49, no. 2, pp. 571-577, Feb. 2014. doi : 10.1111/ijfs.12339.
4. M.Á. Rincón-Cervera, et al. "Vegetable oils rich in alpha linolenic acid increment hepatic n-3 LCPUFA, modulating the fatty acid metabolism and antioxidant response in rats," *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids*, vol. 111, pp. 25-35, Aug. 2016. doi : 10.1016/j.plefa.2016.02.002.
5. Yemane, H.G., Liudmilla, A.N., Tatyana, F.C. Hifzur, R. Set. "Biological active substances based on chia seeds (*Salvia Hispanica* L.)." *Polzunovskiy vestnik*, vol 2, pp. 136-146. June 2023, EDN: <https://elibrary.ru/HJWSVY>. doi : 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.02.018.
6. S. Scapim, B.E. Campos, T.D. Ruivo, G.S. Madrona and R.D.C. Bergamasco. "LWT - Food Science and Technology Optimization of the mucilage extraction process from chia seeds and application in ice cream as a stabilizer and emulsifier," vol. 65, pp. 874-883, 2016. doi : 10.1016/j.lwt.2015.09.021.
7. B. Kulczyński, J. Kobus-Cisowska, M. Taczanowski, D. Kmiecik, and A. Gramza-Michałowska. "The Chemical Composition and Nutritional Value of Chia Seeds-Current State of Knowledge," *Nutrients* 2019, Vol. 11, Page 1242, vol. 11, no. 6, p. 1242, May 2019. doi : 10.3390/NU11061242.
8. V.Y. Ixtaina, et al. "Characterization of chia seed oils obtained by pressing and solvent extraction," *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 24, no. 2, pp. 166-174, 2011, doi: 10.1016/j.jfca.2010.08.006.
9. C.H. Beckman. "Phenolic-storing cells: Keys to programmed cell death and periderm formation in wilt disease resistance and in general defence responses in plants," *Physiol Mol Plant Pathol*, vol. 57, no. 3, pp. 101-110, 2000. doi : 10.1006/pmpp.2000.0287.
10. M. Naczki and F. Shahidi. "Extraction and analysis of phenolics in food," *Journal of Chromatography A*, vol. 1054, no. 1-2. pp. 95-111, Oct. 29, 2004. doi : 10.1016/j.chroma.2004.08.059.
11. A.C. de Camargo, M.A.B. Regitano-d'Arce, and F. Shahidi, "Phenolic Profile of Peanut By-products : Antioxidant Potential and Inhibition of Alpha-Glucosidase and Lipase Activities," *JAACS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, vol. 94, no. 7, pp. 959-971, Jul. 2017. doi : 10.1007/s11746-017-2996-9.
12. T.L.C. Oldoni, et al. "Bioassay-guided isolation of proanthocyanidins with antioxidant activity from peanut (*Arachis hypogaea*) skin by combination of chromatography techniques," *Food Chem*, vol. 192, pp. 306-312, Jul. 2016. doi : 10.1016/j.foodchem.2015.07.004.
13. Y. Zhong and F. Shahidi. "Lipophilized epigallocatechin gallate (EGCG) derivatives as novel antioxidants." *J Agric Food Chem*, vol. 59, no. 12, pp. 6526-6533, Jun. 2011. doi : 10.1021/jf201050j.
14. I. Cvetkovikj, et al. "Polyphenolic characterization and chromatographic methods for fast assessment of culinary *Salvia* species from South East Europe." *J Chromatogr A*, vol. 1282, pp. 38-45, Mar. 2013. doi : 10.1016/j.chroma.2012.12.068.
15. M. Amato, et al. "Nutritional quality of seeds and leaf metabolites of Chia (*Salvia hispanica* L.) from Southern Italy." *European Food Research and Technology*, vol. 241, no. 5, pp. 615-625, Nov. 2015. doi : 10.1007/s00217-015-2488-9.
16. H.S. Elshafie, L. Aliberti, M. Amato, V. de Feo and I. Camele. "Chemical composition and antimicrobial activity of chia (*Salvia hispanica* L.) essential oil," *European Food Research and Technology*, vol. 244, no. 9, pp. 1675-1682, Sep. 2018. doi : 10.1007/s00217-018-3080-x.
17. R. Ullah, et al. "Nutritional and therapeutic perspectives of Chia (*Salvia hispanica* L.): a review," *J Food Sci Technol*, vol. 53, no. 4, pp. 1750-1758, 2016. doi : 10.1007/s13197-015-1967-0.
18. O. Martínez-Cruz and O. Paredes-López, "Phytochemical profile and nutraceutical potential of chia seeds (*Salvia hispanica* L.) by ultra-high performance liquid chromatography." *J Chromatogr A*, vol. 1346, pp. 43-48, Jun. 2014. doi : 10.1016/j.chroma.2014.04.007.
19. R.D. Corral-Aguayo, E.M. Yahia, A. Carrillo-Lopez and G. González-Aguilar. "Correlation between some nutritional components and the total antioxidant capacity measured with six different assays in eight horticultural crops." *J Agric Food Chem*, vol. 56, no.22, pp. 10498-10504, Nov. 2008. doi : 10.1021/jf801983r.
20. P. Porras-Loaiza, M.T. Jiménez-Munguía, M.E. Sosa-Morales, E. Palou and A. López-Malo. "Physical properties, chemical characterization and fatty acid composition of Mexican chia (*Salvia hispanica* L.) seeds," *Int J Food Sci Technol*, vol. 49, no. 2, pp. 571-577, Feb. 2014. doi : 10.1111/IJFS.12339.
21. B. de Falco, A. Fiore, R. Rossi, M. Amato, and V. Lanzotti. "Metabolomics driven analysis by UAGC-MS and antioxidant activity of chia (*Salvia hispanica* L.) commercial and mutant seeds." *Food Chem*, vol. 254, pp. 137-143, Jul. 2018. doi : 10.1016/J.FOODCHEM.2018.01.189.
22. M. Amato, et al. "Nutritional quality of seeds and leaf metabolites of Chia (*Salvia hispanica* L.) from Southern Italy." *European Food Research and Technology*, vol. 241, no. 5, pp. 615-625, Nov. 2015. doi : 10.1007/s00217-015-2488-9.
23. R. da S. Marineli, É.A. Moraes, S.A. Lenquiste, A.T. Godoy, M.N. Eberlin and M.R. Maróstica. "Chemical characterization and antioxidant potential of Chilean chia seeds and oil (*Salvia hispanica* L.)." *LWT*, vol. 59, no. 2P2, pp. 1304-1310, 2014. doi : 10.1016/J.LWT.2014.04.014.
24. Y. Ding, et al. "Nutritional composition in the chia seed and its processing properties on restructured ham-like products." *J Food Drug Anal*, vol. 26, no. 1, pp. 124-134, Jan. 2018. doi : 10.1016/J.JFDA.2016.12.012.
25. N. Balasundram, K. Sundram and S. Samman. "Phenolic compounds in plants and agricultural by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses," *Food Chem*, vol. 99, no. 1, pp. 191-203, 2006. doi : 10.1016/j.foodchem.

TOTAL PHENOLIC CONTENT AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF SPANISH SAGE
(SALVIA HISPANICA L.) INTRODUCED IN THE RUSSIAN FEDERATION

2005.07.042.

26. M.N. Irakli, V.F. Samanidou, C.G. Biliaderis and I.N. Papadoyannis. "Development and validation of an HPLC-method for determination of free and bound phenolic acids in cereals after solid-phase extraction." *Food Chem*, vol. 134, no. 3, pp. 1624-1632, Oct. 2012. doi : 10.1016/J.FOODCHEM.2012.03.046.

27. J.Y. Wong, P. Matanjun, Y.B.H. Ooi and K.F. Chia. "Evaluation of antioxidant activities in relation to total phenolics and flavonoids content of selected malaysian wild edible plants by multivariate analysis." *Int J Food Prop*, vol. 17, no. 8, pp. 1763-1778, Sep. 2014. doi : 10.1080/10942912.2012.724756.

28. B. Tepe, M. Sokmen, H.A. Akpulat and A. Sokmen. "Screening of the antioxidant potentials of six *Salvia* species from Turkey." *Food Chem*, vol. 95, no. 2, pp. 200-204, Mar. 2006. doi : 10.1016/J.FOODCHEM.2004.12.031.

29. G. Miliuskas, P.R. Venskutonis and T.A. van Beek. "Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts." *Food Chem*, vol. 85, no. 2, pp. 231-237, 2004. doi : 10.1016/J.FOODCHEM.2003.05.007.

30. M.C. Zúñiga-López, G. Maturana, G. Campmajó, J. Saurina and O. Núñez. "Determination of bioactive compounds in sequential extracts of chia leaf (*Salvia hispanica* L.) using uhplc-hrms (q-orbitrap) and a global evaluation of antioxidant in vitro capacity." *Antioxidants*, vol. 10, no. 7, p. 1151, Jul. 2021. doi : 10.3390/ANTIOX10071151/S1.

31. A. Podsedek. "Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: A review," *LWT - Food Science and Technology*, vol. 40, no. 1, pp. 1-11, Jan. 2007. doi : 10.1016/J.LWT.2005.07.023

32. Xu, D.P., Li, Y., Meng, X., Zhou, T., Zhou, Y., Zheng, J. Zheng, J. Zhang & Li, H.B. (2017). Natural antioxidants in foods and medicinal plants: Extraction, assessment and resources. *International journal of molecular sciences*, 18(1), 96.

33. Kä, M.P., Hopia, A.I., Vuorela, H.J., Rauhala, J.-P., Pihlaja, K., Kujala, T.S. & Heinonen, M. (1999). "Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds". *ACS Publications*, 47(10), 3954-3962. <https://doi.org/10.1021/jf990146l>.

34. L.A. Nadochii, et al. "Rheological and physical-chemical properties of yogurt with oat-chia seeds composites," *Agronomy Research*, vol. 18, no. S3, pp. 1816-1828, 2020. doi : 10.15159/AR.20.142.

Information about authors

Ye. H. Gebremeskal - PhD student at ITMO National Research University; engineer; researcher at the International Research Center «Biotechnologies of the Third Millennium at ITMO National Research University.

L. A. Nadochii - PhD, Associate Professor at the Faculty of Ecotechnology, ITMO University; researcher at the International Research Center «Biotechnologies of the Third Millennium» at ITMO National Research University and in Saint-Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University.

N. G. Kazydub - PhD, Associate Professor at the department of Agronomy Plant Breeding and Seed Production of Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russia.

R. V. Chernov - PhD student at the department of Agronomy Plant Breeding and Seed Production of Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russia.

Weihong Lu - Professor at the Harbin Institute of Technology, Harbin, China.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 11 апреля 2023; одобрена после рецензирования 18 сентября 2023; принята к публикации 20 ноября 2023.

The article was received by the editorial board on 11Apr 2023; approved after editing on 18 Sep 2023; accepted for publication on 20 Nov 2023



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.68

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.015

 EDN: YGWJVM

ВЛИЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ДОБАВОК НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЗАВАРНОГО ПОЛУФАБРИКАТА

Анастасия Валерьевна Копылова¹, Александр Николаевич Сапожников²,
Наталья Ивановна Давыденко³, Тимофей Александрович Левин⁴,
Инна Юрьевна Рыбакольниковна⁵

^{1, 2, 4, 5} Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

² Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

¹ tasyta7@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9700-8989>

² alexnsk@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5335-4457>

³ Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия, nat861@yandex.ru,

<https://orcid.org/0000-0003-2479-8750>

⁴ timalevin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0649-2133>

⁵ rybakolnikovainna@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1200-6931>

Аннотация. Настоящее исследование было проведено с целью разработки и изучения рецептур заварного полуфабриката с использованием порошков инфракрасной (ИК) сушки листьев шпината и черешков сельдерея для повышения его пищевой ценности и исследования показателей качества готовых изделий. Данные добавки из растительного сырья улучшают органолептические показатели и пищевую ценность полуфабриката и снижают его энергетическую ценность. С целью дополнительного улучшения органолептических показателей для отделки заварного полуфабриката был использован полуфабрикат кракелин. Путем математического моделирования было установлено, что оптимальным количеством порошков, вводимых как в сам полуфабрикат, так и в кракелин, является 8,5 % от массы пшеничной муки. При этом энергетическая ценность полуфабриката максимально снижается, содержание пищевых волокон в 100 г изделия составляет более 15 % от суточной нормы, а стоимость сырья на одно изделие не превышает 30 р. Выработанные по расчетным рецептурам экспериментальные образцы заварного полуфабриката отличались более высокими органолептическими показателями, формоудерживающей способностью и повышенной пищевой ценностью. В результате проведенного исследования рекомендовано практически внедрить разработанные рецептуры и технологии на профильных производствах.

Ключевые слова: мучные кондитерские изделия, заварной полуфабрикат, шпинат, сельдерея, порошки инфракрасной сушки, показатели качества, повышение пищевой ценности.

Для цитирования: Влияние растительных добавок на показатели качества заварного полуфабриката / А. В. Копылова [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 4, С. 118–126. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.015. EDN: <https://elibrary.ru/YGWJVM>.

Original article

INFLUENCE OF PLANT ADDITIVES ON QUALITY INDICATORS OF CHOUX PASTRY SEMI-FINISHED PRODUCT

Anastasiia V. Kopylova ¹, Aleksandr N. Sapozhnikov ², Nataliia I. Davydenko ³,
Timofey A. Levin ⁴, Inna Y. Rybakolnikova ⁵

^{1, 2, 4, 5} Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

² Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

¹ tasyta7@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9700-8989>

² alexnsk@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5335-4457>

³ Kemerovo State University, Kemerovo, Russia, nat861@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2479-8750>

⁴ timalevin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0649-2133>

⁵ rybakolnikovainna@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1200-6931>

Abstract. *The research described in the paper was carried out with the purpose of development and study of choux pastry semi-finished product formulations with the use of spinach leaves and celery stalks powders of infrared (IR) drying for increasing of their nutritional value and study of quality indicators. These additives from plant raw materials improve sensory characteristics and nutritional value of the semi-finished product and decrease its energy value. For additional quality indicators improvement, the semi-finished product craquelin for decoration was used. By mathematical modeling, it was found that the optimal number of powders introduced both into the semi-finished product itself and into craquelin is 8.5% by weight of wheat flour. At the same time, the energy value decreased maximally, dietary fiber content in 100 g of the product is more than 15 % of daily norm, and the cost of raw materials per product unit does not exceed 30 rubles. The experimental samples of semi-finished product developed according to the calculated formulations were characterized by higher sensory characteristics, shape-holding ability and nutritional value. As a result of the research, the practical implementation of developed formulations and technologies in specialized industries was suggested.*

Keywords: *pastry production, choux pastry, spinach, celery, powders of infrared drying, quality indicators, improving of nutritional value.*

For citation: Kopylova, A. V., Sapozhnikov, A. N., Davydenko, N. I., Levin, T. A. & Rybakolnikova, I. Y. (2023). Influence of plant additives on quality indicators of choux pastry semi-finished product. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 118-126. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.015. EDN: <https://elibrary.ru/YGWJVM>.

ВВЕДЕНИЕ

Изделия из заварного теста являются популярным видом кондитерских изделий среди населения России. Их ассортимент может быть достаточно широк, так как в качестве наполнителя в них могут быть использованы как сладкие, так и несладкие начинки. Также дополнительные ингредиенты могут быть внесены в рецептуру самого заварного полуфабриката. Данный вид изделий является доступным и привлекательным для потребителей, они обладают высокими органолептическими свойствами и могут быть произведены на предприятиях различной отраслевой принадлежности ручным, автоматизированным или автоматическим способом в зависимости от мощности предприятия.

Вместе с тем основными недостатками изделий из заварного теста, как и большинства мучных кондитерских изделий, является их высокая калорийность (энергетическая ценность) и низкое содержание ряда витаминов и минеральных веществ. Вследствие этого, актуальной является задача повышения их пищевой ценности при одновременном снижении энергетической ценности. Данная задача также направлена на расширение существующего ассортимента заварных изделий.

Улучшение показателей качества изделий из заварного теста может быть достигнуто как за счет совершенствования параметров технологического процесса, так и за счет введения в рецептуру заварного полуфабриката новых ингредиентов.

В.А. Васькиной и др. (2014) разработан и запатентован способ производства заварного полуфабриката, при котором улучшение показателей качества изделия может быть достигнуто за счет использования смеси технологических добавок – казеината натрия, каррагинана, ксантановой камеди и натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы, а также сорбита, которые добавляют в заваренную массу [1].

Вместе с тем в технологии производства мучных кондитерских изделий существует тенденция использования добавок натурального происхождения, что отражено в ряде исследований российских и зарубежных авторов. При этом в наибольшей степени в производстве заварного полуфабриката использовались продукты переработки кукурузы. Так, Е.Н. Артемовой и С.Г. Ушаковой (2012) разработан и запатентован способ производства заварного полуфабриката с использованием пшеничной и кукурузной муки в соотношении 1:1, при этом количество воды, необходимое для заваривания, увеличивали вдвое по сравнению с базовой рецептурой [2].

Помимо использования кукурузной муки в качестве добавки в рецептуре заварного полуфабриката на основе пшеничной муки, она также может являться и основным ингредиентом для его производства. Кукуруза и продукты ее переработки не содержат глютена, поэтому она может быть использована как безглютеновый ингредиент в производстве широкого ассортимента мучных изделий. Согласно исследованиям Л.Т. Фахртдиновой и др. (2021), смесь для приготовления безглютенового заварного полуфабриката также может быть приготовлена на основе кукурузной муки с добавлением рисовой муки и кукурузного крахмала. Проведенные исследования показали, что оптимальное соотношение данных видов муки и крахмала составляет 5:4:1 соответственно [3].

I. Fajri и др. использовали в рецептуре заварного полуфабриката кукурузную крупу. При этом ее оптимальное количество авторами выявлено как 75 % от массы пшеничной муки [4].

Т.А. Шевяковой и др. (2020) была разработана и исследована рецептура безглютенового заварного полуфабриката на основе амарантовой муки и нативного крахмала. Авторами отмечено, что полученный полуфабрикат отличается повышенным качеством и пищевой ценностью [5].

Перспективным является использование муки из бобовых в качестве частичной замены пшеничной муки при приготовлении заварного полуфабриката, в том числе в сочета-

нии с другими ингредиентами. Так, Н.И. Царевой и др. (2018) были проведены исследования по использованию гороховой муки в рецептуре заварного полуфабриката. При этом отмечено, что при заваривании мучной смеси увеличивается количество воды, а полученный полуфабрикат отличается более высоким содержанием белков и витаминов [6]. О.И. Козловым и М.Д. Садыговой (2015) проводились исследования по использованию смеси из нутовой и пшеничной муки в количестве 5–15 % каждого вида муки от общего количества муки в сочетании с настоем шиповника вместо воды. Было отмечено, что экспериментальные образцы имеют более высокие органолептические показатели в сравнении с базовой рецептурой полуфабриката. Кроме этого, в экспериментальных образцах возрастало содержание белков и витаминов [7].

Г. Магомедовым и др. (2010) исследовалось влияние соевой муки в сочетании с жиром с высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот на реологические свойства заварного полуфабриката. У образцов изделий наблюдалось повышение пищевой ценности, вместе с тем важным являлось соблюдение параметров сбивания, при котором обеспечивались наиболее высокие показатели качества готовой продукции [8].

А. Rahmadani и др. (2021) проводили исследования по использованию ферментированной муки батата в рецептуре заварного полуфабриката в количестве 20 % от массы пшеничной муки с использованием 3 % пекарского порошка. Отмечено, что при использовании ингредиентов в данном соотношении увеличивается удельный объем и влажность готовых изделий, а также их органолептические показатели (цвет, текстура) [9].

Таким образом, основным направлением в расширении ассортимента заварных полуфабрикатов, повышении его органолептических показателей и пищевой ценности является использование нетрадиционных видов муки и аналогичных ингредиентов, частично или полностью заменяющих пшеничную муку в рецептуре изделия.

Вместе с тем в меньшей степени исследованным, но при этом также перспективным является введение в заварное тесто других видов нетрадиционного сырья, которые могут улучшить его пищевую ценность. В этом отношении представляет интерес введение в рецептуру заварного полуфабриката овощного сырья [10].

А. Ана и др. (2022) вводили в рецептуру заварного полуфабриката экстракт шпината с водорослью нори [11]. В состав начинки вхо-

ВЛИЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ДОБАВОК НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЗАВАРНОГО ПОЛУФАБРИКАТА

дили лосось, картофель, морковь, сельдерей, чеснок и другие ингредиенты, а также различные приправы. Полученное изделие отличалось оригинальным вкусом, запахом, высокими органолептическими показателями и повышенной пищевой ценностью, но вместе с тем сложной технологией приготовления.

А.В. Бобылевой и А.Д. Тошевым (2011) разработан и запатентован способ производства заварного полуфабриката с использованием геля «Алоэ Вера» на основе одноименного растительного сырья, позволяющий повысить пищевую ценность и снизить энергетическую ценность заварного полуфабриката за счет снижения массовой доли жира и наличия в геле минеральных веществ, витаминов, ферментов, аминокислот и других биологически активных веществ [12]. Вместе с тем данный гель не является широко распространенным пищевым ингредиентом, что может ограничивать производство заварного полуфабриката с его добавлением.

Проведенный анализ источников показал, что новые рецептуры заварного полуфабриката создаются преимущественно на основе или с использованием злакового, бобового сырья. При этом овощное сырье в качестве ингредиента для полуфабриката применялось в единичных случаях.

Помимо этого, следует отметить, что показатели качества заварных полуфабрикатов не регламентируются российскими национальными или межгосударственными стандартами. Вместе с тем заварной полуфабрикат обладает отличительными признаками, которые следует учитывать при комплексной оценке его качества [10].

Учитывая полученные данные и результаты собственных исследований, можно сделать вывод, что введение овощного сырья в рецептуру заварного полуфабриката является перспективным, но недостаточно исследованным. Следует учесть, что растительное сырье не всегда возможно использовать в нативном состоянии, так как оно является преимущественно сезонным продуктом. В этом отношении представляет интерес инфракрасная (ИК) сушка, позволяющая получить из сырья полуфабрикаты длительного хранения с высокой степенью сохранности полезных веществ. Перспективным растительным сырьем, обладающим комплексом полезных свойств, является овощная зелень, в частности шпинат листовой и сельдерей черешковый, которые целесообразно использовать для разработки новых рецептур заварного полуфабриката.

Целью настоящего исследования является

разработка и исследование рецептур заварного полуфабриката с использованием порошков ИК-сушки листьев шпината и черешков сельдерея с целью повышения его пищевой ценности и исследование показателей качества готовых изделий, в т. ч. специфических для данного вида мучных кондитерских изделий [10].

МЕТОДЫ

Разработка рецептуры образцов заварного полуфабриката с кракелином с добавлением порошков ИК-сушки листьев шпината и черешков сельдерея и исследование их показателей качества проводились на кафедре технологии и организации пищевых производств (ТОПП) Новосибирского государственного технического университета.

Базовой рецептурой заварного полуфабриката являлась рецептура № 22 Сборника рецептур мучных кондитерских и булочных изделий для предприятий общественного питания (1998) [13] и рецептура кракелина по технико-технологической карте, разработанной и утвержденной на кафедре ТОПП. Экспериментальные образцы отличались от базового тем, что в них вводились порошки ИК-сушки шпината и сельдерея.

С целью оптимизации рецептур, согласно [14], использовано математическое моделирование методом линейного программирования. В результате моделирования было определено, что для достижения минимальной энергетической ценности изделия при массовой доле пищевых волокон 3 г/100 г готовых изделий (15 % от суточной нормы потребления) и стоимости сырьевого набора не более 30 руб. на единицу изделия в рецептуру изделия следует вносить не менее 5% порошков ИК-сушки шпината и сельдерея от массы муки пшеничной высшего сорта.

Также предварительными исследованиями было установлено, что оптимальным количеством порошков в рецептуре отделочного полуфабриката кракелина является 4,7 % от массы муки миндальной. Таким образом, общее количество порошков в рецептурах изделий составило 8,5 % от муки пшеничной высшего сорта [10].

Всего в исследованиях были использованы 3 образца заварного полуфабриката:

- образец № 1 (контрольный) – полуфабрикат заварной с кракелином;
- образец № 2 – полуфабрикат заварной с кракелином с 8,5 % порошка шпината ИК-сушки;
- образец № 3 – полуфабрикат заварной с кракелином с 8,5 % порошка сельдерея

ИК-сушки.

В течение 2,5...4 ч после выпечки осуществлялась органолептическая оценка образцов заварного полуфабриката в соответствии с требованиями ГОСТ 31986-2012 [15]. Дегустационная комиссия включала в себя 10 человек – 7 преподавателей кафедры ТОПП и 3 студентов факультета бизнеса НГТУ.

Общая органолептическая оценка образцов проводилась по показателям внешнего вида, консистенции, цвета, вкуса и запаха. Каждый показатель оценивался по шкале в диапазоне от 1 до 5 баллов, где наименьшим баллом был 1, наивысшим – 5.

В отношении показателей вкуса и запаха, как наиболее характерных критериев при выборе мучных кондитерских изделий, дегустационной комиссией был применен дескрипторно-профильный метод. Используемый метод способствует получению объективной оценки при анализе отдельных свойств образцов, что в дальнейшем позволит их регулировать в процессе совершенствования рецептур и технологий вырабатываемых изделий [16]. Для каждой характеристики показателя принималась оценка в соответствии с принятым методом по шкале в диапазоне от 0 до 5 баллов, где 5 баллов означали наиболее выраженную характеристику вкуса («сладкий», «кислый», «острый», «пряный», «горький», «солёный») и запаха («специфичный», «резкий», «интенсивный», «приятный», «свойственный входящему сырью»), 0 баллов – отсутствие соответствующей характеристики вкуса и запаха.

С целью оценки влияния вносимых порошков на формирование полости заварного полуфабриката образцы заварного полуфабриката были исследованы по разработанной методике измерения линейных показателей:

- диаметра отсаженного полуфабриката;
- диаметра и высоты выпеченного полуфабриката;
- диаметра и высоты полости в выпеченном полуфабрикate.

Целью измерения данных показателей было изучение влияния внесения порошков на характеристики заварного теста. Показатели измерялись сантиметровой линейкой,

после чего проходили статистическую обработку.

Скорость растекания заготовки определялась путем измерения диаметра отсаженного полуфабриката сантиметровой линейкой через промежутки времени 15, 30, 45 и 60 с, замеряемых с помощью секундомера СОС-ПР-2Б-2-000.

Химический состав изделий (влажность, массовая доля белков, жиров, углеводов (в т.ч. пищевых волокон), золы, минеральных веществ, витаминов и витаминopodobных веществ и их энергетическая ценность) определялись стандартными методами. Полученные данные сравнивались с нормативными показателями согласно МР 2.3.1.0253-21 [17]. Массовая доля жира определялась по массе образцов и в пересчете на сухое вещество. Влажность и массовая доля жира являются обязательными при оценке качества заварных полуфабрикатов.

Статистическая обработка результатов производилась в соответствии с рекомендациями [18, 19]. Адекватность полученных результатов исследуемому способу подтверждалась критерием Фишера при доверительной вероятности $p = 0,95$.

Для установления сроков годности проводили органолептическую оценку образцов полуфабриката заварного в течение 96 ч по суммарному значению органолептических показателей внешнего вида, цвета, консистенции, вкуса и запаха.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты органолептической оценки образцов заварного полуфабриката представлены в таблице 1.

Результаты органолептической оценки образцов полуфабриката заварного представлены на рисунке 1.

В таблице 2 представлены показатели линейных характеристик образцов полуфабриката заварного, позволяющие оценить влияние вносимого порошка на процесс образования полости – основного идентификационного признака заварных полуфабрикатов.

В таблице 3 представлены показатели химического состава образцов изделия «Полуфабрикат заварной».

ВЛИЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ДОБАВОК НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЗАВАРНОГО ПОЛУФАБРИКАТА

Таблица 1 – Органолептические показатели образцов полуфабриката заварного

Table 1 – Sensory indicators of choux pastry semi-finished products samples

Наименование показателя	Значения		
	Образец № 1 (без кракелина)	Образец № 2 (без кракелина)	Образец № 3 (без кракелина)
Внешний вид	Выпеченные изделия круглой формы, полые внутри, с несквозными трещинами на поверхности		
Цвет	Корочки – золотистый, светло-коричневый, теста – светло-коричневый	Корочки – золотистый, светло-коричневый, теста – от салатного до светло-зеленого	Корочки – золотистый, светло-коричневый, теста – светло-коричневый
Вкус и запах	Приятные, свойственные свежесдобытому изделию, без посторонних привкусов		
Консистенция	Теста – эластичная, на поверхности – хрустящая корочка		

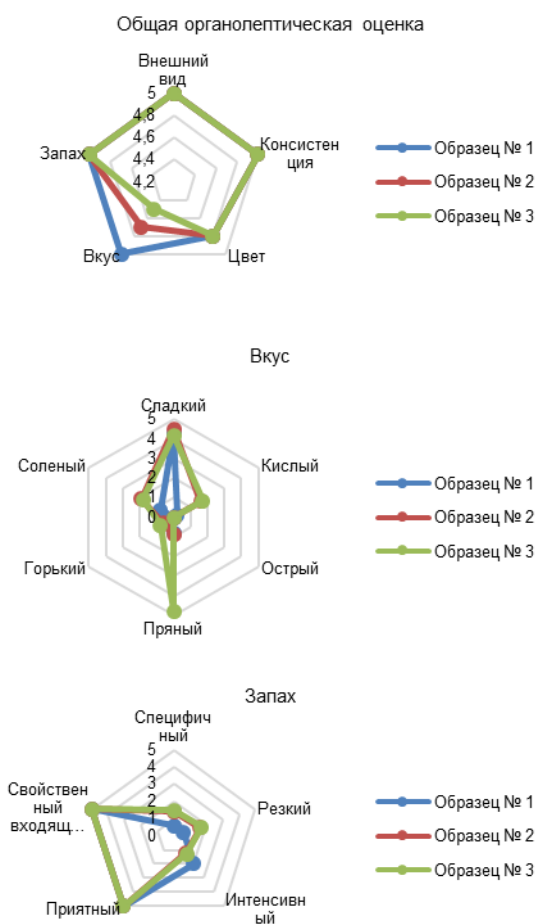


Рисунок 1 – Балльная органолептическая оценка образцов полуфабриката заварного

Figure 1 – Scoring sensory evaluation of choux pastry semi-finished product samples

Результаты балльной органолептической оценки образцов полуфабриката заварного в процессе хранения представлены на графике рисунка 2.



Рисунок 2 – Результаты балльной органолептической оценки образцов полуфабриката заварного в процессе хранения

Figure 2 – Results of scoring sensory evaluation of choux pastry semi-finished product samples during storage

ОБСУЖДЕНИЕ

Представленные в таблице 1 органолептические показатели свидетельствуют о том, что полученные модели состава рецептур позволяют создать изделия соответствующего качества. Вместе с тем улучшение органолептических характеристик и пищевой ценности возможно за счет использования полуфабриката кракелина, куда также соответственно вносятся порошки шпината и сельдерея ИК-сушки.

Из профилограммы органолептических показателей на рисунке 1 видно, что представленные образцы получили высокие баллы по всем органолептическим показателям, при этом вкус образцов с порошками снизился на 0,3...0,5 балла, что свидетельствует о специфичности вкуса шпината и сельдерея.

В свою очередь, в отношении вкуса у изделий он остался сладким практически на прежнем уровне, изменяясь незначительно на 0,1...0,2 балла как в большую, так и меньшую стороны. При этом он стал более кислым (на 1,4...1,5 балла), солёным (на 1,0...1,1 балла) и горьким (на 0,6...0,8 балла), и в наибольшей степени пряным для образца с порошком шпината (на 4 балла).

Таблица 2 – Линейные характеристики образцов полуфабриката заварного
Table 2 – Linear characteristics of choux pastry semi-finished products samples

Наименование показателя	Значения		
	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
Диаметр отсаженного полуфабриката, см	4,1±0,4	4,2±0,4	4,1±0,4
Скорость растекания отсаженного полуфабриката, см/мин	1,0±0,1	0,6±0,1	0,5±0,1
Диаметр выпеченного полуфабриката, см	7,1±0,7	7,0±0,7	7,2±0,7
Высота выпеченного полуфабриката, см	4,5±0,4	5,0±0,5	4,9±0,5
Диаметр полости, см	6,8±0,7	6,7±0,6	6,8±0,7
Высота полости, см	3,6±0,4	4,4±0,3	4,5±0,3

Таблица 3 – Химический состав образцов полуфабриката заварного
Table 3 – Chemical composition of choux pastry semi-finished products samples

Наименование пищевых веществ	Суточная норма	Образец № 1		Образец № 2		Образец № 3	
		Содержание в 100 г изделия	% от суточной нормы	Содержание в 100 г изделия	% от суточной нормы	Содержание в 100 г изделия	% от суточной нормы
Влажность, г	–	61,2±3	–	61,3±3	–	61,1±3	–
Белки, г	85	4,9±0,2	5,7	5,0±0,3	5,9	4,8±0,2	5,6
Жиры, г	90	16,3±0,8	18,1	16,1±0,8	17,9	16,1±0,7	17,9
в т. ч. в пересчете на сухое вещество, г	–	42,0±2,1	–	41,6±2,1	–	41,4±2,1	–
Углеводы, г	380	15,0±0,8	4,0	14,8±0,7	3,9	14,9±0,7	3,9
Пищевые волокна, г	20	0,4±0,02	2,0	3,6±0,2	18,0	3,2±0,2	16,0
Зола, г	–	1,0±0,01	–	1,6±0,1	–	1,4±0,1	–
Энергетическая ценность, ккал	2670	227	8,5	226	8,5	226	8,5
Минеральные вещества							
Натрий, мг	1300	176±9	13,5	196±9	15,1	202±10	15,5
Калий, мг	3500	110±6	3,1	201±10	5,7	205±10	5,9
Кальций, мг	1000	42±0,4	4,2	56±3	5,6	54±3	5,4
Магний, мг	420	20±1	4,8	28±2	6,7	26±2	6,2
Фосфор, мг	700	79±4	11,3	86±4	12,3	85±4	12,1
Железо, мг	14	0,8±0,04	5,7	1,4±0,07	10,0	1,6±0,08	11,4
Витамины и витаминоподобные вещества							
Бета-каротин, мг	6	0,1±0,01	1,7	0,3±0,01	5,0	0,4±0,02	6,7
Тиамин (В ₁), мг	1,5	0,04±0,01	2,7	0,22±0,01	14,7	0,1±0,01	6,7
Рибофлавин (В ₂), мг	1,8	0,06±0,01	3,3	0,14±0,01	7,8	0,1±0,01	5,6
Ниацин (РР), мг	20	0,4±0,02	2,0	1,1±0,01	5,5	1,1±0,01	5,5
Аскорбиновая кислота (С), мг	90	0,1±0,01	0,1	6,2±0,1	6,9	5,2±0,1	5,8

Запах образцов с порошками стал более специфичным (на 0,8...0,9 балла), резким (на 1,0...1,1 балла), при этом менее интенсивным (на 0,7...0,8 балла). Однако внесение порошков не влияет на такие характеристики запаха, как «приятный» и «свойственный входящему сырью», что определяет его привлекательность для потребителей.

Из анализа линейных характеристик

(таблица 1) видно, что использование порошков шпината и сельдерея ИК-сушки незначительно влияло на диаметр отсаженного полуфабриката, в то время как скорость его растекания снизилась на 0,4...0,5 см/мин, что свидетельствует о повышении вязкости теста за счет внесения в них порошков. Диаметр выпеченных полуфабрикатов и полости практически не изменился, в то время как высота

ВЛИЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ДОБАВОК НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЗАВАРНОГО ПОЛУФАБРИКАТА

стала больше для полуфабрикатов и полости на 0,4...0,5 см и 0,8...0,9 см соответственно, что можно объяснить увеличением формоудерживающей способности заварного теста за счет внесения туда порошков из исследуемого растительного сырья.

Из таблицы 3 видно, что порошки шпината и сельдерея ИК-сушки в наибольшей степени повышают содержание в 100 г готовых изделий пищевых волокон соответственно на 3,2 и 2,8 г (в 8 и 9 раз), калия – на 91 и 95 мг (82,7 % и 86,4 %), кальция – на 14 и 12 мг (33,3 % и 28,6 %), магния – на 8 и 6 мг (40 % и 30 %), железа – на 0,6 и 0,8 мг (75 % и в 2 раза), бета-каротина – на 0,2 и 0,3 г (в 3 и 4 раза) тиамина – на 0,18 и 0,6 мг (в 5,5 и 2,2 раза), рибофлавина – на 0,04 и 0,08 мг (в 2,3 и 1,7 раза), ниацина – на 0,7 мг (в 7,8 раза), аскорбиновой кислоты – на 5,1 и 6,1 мг при условии ее фактического отсутствия в образце без добавления порошка. При этом в экспериментальных образцах разрабатываемого полуфабриката содержание всех исследуемых витаминов, бета-каротина и микроэлементов составляет более 5 % от суточной нормы. Влажность, массовая доля белков, жиров (в т. ч. в пересчете на сухое вещество) и углеводов и энергетическая ценность экспериментальных образцов полуфабриката практически не изменяются и соответствуют требованиям, предъявляемым к оценке качества заварного полуфабриката [10].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, основным результатом проведенного исследования стала разработка оптимальных рецептур изделий из заварного теста с добавлением растительных добавок в виде порошков ИК-сушки из шпината и сельдерея.

Итоги проведенной работы определили высокие показатели качества и повышенную пищевую ценность разработанного заварного полуфабриката, а также целесообразность его дальнейшего использования на производстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Способ производства заварного полуфабриката : пат. 2504962 Рос. Федерация № 2012138937/13 ; заявл. 12.09.2012; опубл. 27.01.2014, Бюл. № 3. 8 с.
2. Способ производства заварного полуфабриката: пат. 2438332 Рос. Федерация № 2010124734/13 ; заявл. 16.06.2010; опубл. 10.01.2012, Бюл. № 1. 5 с.
3. Разработка рецептуры заварного полуфабриката специализированного назначения на основе безглютенового сырья / Л.Т. Фахртдинова [и др.] // Хлебопродукты. 2021. № 3. С. 26–31. doi : 10.32462/0235-2508-2021-30-3-26-31.
4. Fajri I., Ningsih C., Octavia S. The differentiation of corn choux pastry product with additional vegetables

as stuffing // The Journal Gastronomy Tourism. 2020. Vol. 7, iss. 2. P. 93–105.

5. Получение безглютенового заварного выпеченного полуфабриката на основе амарантовой муки / Т.А. Шевякова [и др.] // Хлебопродукты. 2020. № 8. С. 30–34. doi : 10.32462/0235-2508-2020-29-8-30-34.

6. Царева Н.И., Ушакова С.Г., Глебова Н.В. Гороховая мука в технологии заварного полуфабриката // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2018. № 2(49). С. 15–18.

7. Козлов О.И., Садыгова М.Д. Разработка рецептуры и технологии полуфабриката заварных пирожных // Аграрный научный журнал. 2015. № 3. С. 49–52.

8. Магомедов Г., Пономарёва Е., Рязанова Л. Влияние рецептурных компонентов на качество заварных бездрожжевых полуфабрикатов и хлеба // Хлебопродукты. 2010. № 1. С. 44–45.

9. Rahmadani A., Lubis L.M., Nainggolan R.J. The effect of the ratio of wheat flour with fermentation orange sweet potato flour and addition of baking powder on the quality of dried choux pastry // IOP Conference Series : Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 782. Art. 032073 (7 p.). doi : 10.1088/1755-1315/782/3/032073.

10. Копылова А.В. Применение порошков из растительного сырья инфракрасной сушки для повышения пищевой ценности мучных и хлебобулочных изделий : дис. ... канд. техн. наук. Кемерово, 2022. 204 с.

11. Ana A., Maharani S., Muktiarni M. Nutritional and sensory quality of choux pastry enriched by salmon, spinach, and seaweed // Journal of Engineering Science and Technology. 2022. Vol. 17, no. 5. P. 3088–3098.

12. Способ получения полуфабриката из заварного теста: пат. 2435415 Рос. Федерация № 2010123099/13 ; заявл. 07.06.2010; опубл. 10.12.2011, Бюл. № 34. 7 с.

13. Павлов А.В. Сборник рецептур мучных кондитерских и булочных изделий для предприятий общественного питания. Санкт-Петербург : Гидрометеопиздат, 1998. 294 с.

14. Автоматизированное проектирование сложных многокомпонентных продуктов питания : учеб. пособие / Е.И. Муратова [и др.]. Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. 80 с.

15. ГОСТ 31986-2012. Услуги общественного питания. Метод органолептической оценки качества продукции общественного питания : введ. 2015-01-01. Москва, 2019, 12 с.

16. Матисон В.А., Арутюнова Н.И., Горячева Е.Д. Применение дескрипторно-профильного метода для оценки качества продуктов питания // Пищевая промышленность. 2015. № 6. С. 52–54.

17. Методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Москва, 2021. 72 с.

18. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва : «Колос», 1973. 336 с.

19. Монтгомери Д.К. Планирование эксперимента и анализ данных. Ленинград : Судостроение, 1980. 383 с.

Информация об авторах

А. В. Копылова – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и организации пищевых производств ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет».

А. Н. Сапожников – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и организации пищевых производств ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»; доцент кафедры управления и отраслевой экономики ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет».

Н. И. Давыденко – доктор технических наук, заведующий кафедрой технологии и организации общественного питания ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет».

Т. А. Левин – студент магистратуры факультета бизнеса ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет».

И. Ю. Рыбакольникова – студент магистратуры факультета бизнеса ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет».

REFERENCES

1. Vas'kina, V.A., Korotkov, A.O., Lysjuk, F.A., Tumanov, V.M., Ruban, N.V., Sidorenko, M.J. & Potapova, N.J. (2014). Cooked semi-product production method. *Pat. 2504962. Russian Federation, published on 27.01.2014.* Bull. No. 3. (In Russ.).
2. Artemova, E.N. & Ushakova, S.G. (2012). Cooked semi-product production method. *Pat. 23438332. Russian Federation, published on 10.01.2012.* Bull. No. 1. (In Russ.).
3. Fakhrtidinova, L.T., Sadygova, M.K., Kirillova, T.V. & Saidullaeva, Y.T. (2021). Development of choux pastry semi-finished product formulation for specialized purposes based on gluten-free raw materials. *Khleboproducty*, (3), 26-31. (In Russ.). DOI : 10.32462/0235-2508-2021-30-3-26-31.
4. Fajri, I., Ningsih, C. & Octavia, S. (2020). The differentiation of corn choux pastry product with additional vegetables as stuffing. *The Journal Gastronomy Tourism*, 7(2), 93-105.
5. Shevyakova, T.A., Plotnikova, I.V., Magomedov, G.O., Zhuravlev, A.A. & Demyanik, M.P. (2020). Obtaining of gluten-free baked semi-finished products based on amaranth flour. *Khleboproducty*, (8), 30-34. (In Russ.). DOI : 10.32462/0235-2508-2020-29-8-30-34.
6. Tsareva, N.I., Ushakova, S.G. & Glebova, N.V. (2018). Pea flour in the technology of custard semi-finished. *Technology and the study of merchandise of innovative foodstuffs*, (2), 15-18. (In Russ.).
7. Kozlov, O.I. & Sadygova, M.D. (2015). Development of the formula and technology of production of choux pastry semi-product. *The Agrarian Scientific Journal*, (3), 49-52. (In Russ.).
8. Magomedov, G., Ponomareva, E. & Ryazanova, L. (2010). Influence of formulation components on the quality of choux pastry yeast-free semi-finished products and bread. *Khleboproducty*, (1), 44-45. (In Russ.).
9. Rahmadani, A., Lubis, L.M. & Nainggolan, R.J. (2021). The effect of the ratio of wheat flour with fermentation orange sweet potato flour and addition of baking powder on the quality of dried choux pastry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 782, 032073. DOI : 10.1088/1755-1315/782/3/032073.
10. Kopylova, A.V. (2022). Application of infrared-dried powders from plant raw materials for bread and bakery products nutritional value improving. Candidate's thesis. Kemerovo. (In Russ.).
11. Ana, A., Maharani, S. & Muktiarni, M. (2022). Nutritional and sensory quality of choux pastry enriched by salmon, spinach, and seaweed. *Journal of Engineering Science and Technology*, 17(5), 3088-3098.
12. Bobyleva, A.V. & Toshev, A.D. (2011). Method for cooked dough semi-product production. *Pat. 2435415. Russian Federation, published on 10.12.2011.* Bull. No. 34. (In Russ.).
13. Pavlov, A.V. (1998). *Digest of formulation for flour confectionery and bakery products for public catering enterprises.* Saint-Petersburg : Gidrometeoizdat. (In Russ.).
14. Muratova, E.I., Tolstykh, S.G., Dvoretzkiy, S.I., Zyuzina, O.V. & Leonov, D.V. (2011). *Automated design of complex multicomponent food products.* Tambov : Tambov State Technical University Publishing House. (In Russ.).
15. Public catering service. Method of sensory evaluation of catering products. (2019). GOST 31986-2012 from 3 Dec. 2012. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).
16. Matison, V.A., Arutyunova, N.I. & Goryacheva, E.D. (2015). Application of descriptor-profile method to assess the food quality. *Food Processing Industry*, (6), 52-54. (In Russ.).
17. The norms of physiological requirements in energy and nutrients for different population groups in Russian Federation. (2021). Methodical recommendations MR 2.3.1.0253-2021, Moscow. (In Russ.).
18. Dospekhov, B.A. (1973). *Field experiment methodology (with fundamentals of statistical processing of research results).* Moscow : Kolos.
19. Montgomery, D.C. (1980). *Design and analysis of experiments.* Leningrad : Sudostroenie, (In Russ.).

Information about the authors

A. V. Kopylova - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Technology and Organization of Food Industries Department of Novosibirsk State Technical University.

A. N. Sapozhnikov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Technology and Organization of Food Industries Department of Novosibirsk State Technical University; Associate Professor of Department of Management and Industrial Economics of Novosibirsk State Agrarian University.

N. I. Davydenko - Doctor of Technical Sciences, Head of Technology and Organization of Catering Department of Kemerovo State University.

T. A. Levin - Master Student of Faculty of Business of Novosibirsk State Technical University.

I. Y. Rybakolnikova - Master Student of Faculty of Business of Novosibirsk State Technical University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 27 февраля 2023; одобрена после рецензирования 18 сентября 2023; принята к публикации 20 ноября 2023.

The article was received by the editorial board on 27 Feb 2023; approved after editing on 18 Sep 2023; accepted for publication on 20 Nov 2023.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 637.521.2; 636.293.3
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.016

 EDN: HYDCAZ

РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПРОДУКТА ИЗ МЯСА ЯКА

Бибикуль Сулеевна Тамабаева ¹, Элиза Майрамбековна Абакирова ²

^{1,2} Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, г. Бишкек, Кыргызстан

¹ tamabaeva1807@mail.ru <https://orcid.org/0000-0003-2815-627X>

² mairambekovna@mail.ru <https://orcid.org/0000-0003-2830-1561>

Аннотация. Мясо яка представляет большой интерес с точки зрения его химического состава. Это мясо содержит значительное количество миоглобина и гемоглобина (железо-содержащих белков), что является главным его достоинством по сравнению с другими видами мяса.

Учитывая нехватку минеральных веществ в продуктах питания, в Кыргызской Республике распространились заболевания щитовидной железы и железодефицитной анемии. Это связано с недостатком в организме железа и йода.

В связи с чем нами поставлена задача разработать новый функциональный продукт, основным сырьем для которого явилось мясо яка, богатое гемовым железом. Для увеличения содержания йода в качестве добавки мы использовали ламинарию сушеную.

Экспериментальным путем были исследованы химический и минеральный составы основного сырья мяса яка и йодсодержащей добавки ламинарии. Выявлено, что в мясе яка содержится 4,95 мг/100 г железа, в то время как йода содержалось всего 3,82 мкг/100 г, в ламинарии же количество йода составило 516 мкг/100 г. Также был исследован минеральный состав готового продукта с ламинарией до и после тепловой обработки и контрольного образца для сравнительного анализа потерь компонентов при тепловой обработке продукта.

Ключевые слова: мясо яка, ламинария, йододефицит, железодефицитная анемия, минеральные вещества, функциональный продукт, рулет, тепловая обработка.

Для цитирования: Тамабаева Б. С., Абакирова Э. М. Разработка функционального продукта из мяса яка // Ползуновский вестник. 2023. № 4, С. 127–132. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.016. EDN: <https://elibrary.ru/HYDCAZ>.

Original article

DEVELOPMENT OF FUNCTIONAL PRODUCT FROM YAK MEAT

Bibikul S. Tamabaeva ¹, Eliza M. Abakirova ²

^{1,2} KyrgyzStateTechnical University named after I. Razzakov, Bishkek, Kyrgyzstan

¹ tamabaeva1807@mail.ru <https://orcid.org/0000-0003-2815-627X>

² mairambekovna@mail.ru <https://orcid.org/0000-0003-2830-1561>

Abstract. Yak meat is of great interest in terms of its chemical composition. This meat contains a significant amount of myoglobin and hemoglobin (iron-containing proteins), which is its main advantage compared to other types of meat.

Given the lack of minerals in food, thyroid diseases and iron deficiency anemia have spread in the Kyrgyz Republic. This is due to a lack of iron and iodine in the body.

© Тамабаева Б. С., Абакирова Э. М., 2023

In this connection, we set the task to develop a new functional product, the main raw material for which was yak meat rich in heme iron. To increase the iodine content, we used dried kelp as an additive.

Experimentally, the chemical and mineral compositions of the main raw material of yak meat and the iodine-containing additive of kelp were studied. It was revealed that yak meat contains 4.95 mg / 100 g of iron, while iodine contained only 3.82 µg / 100 g, while in kelp the amount of iodine was 516 µg / 100 g. The mineral composition of the finished product with laminaria before and after heat treatment and a control sample for a comparative analysis of component losses during heat treatment of the product.

Keywords: yak meat, kelp, iodine deficiency, iron deficiency anemia, minerals, functional product, roll, heat treatment.

For citation: Tamabaeva, B. S. & Abakirova, E. M. (2023). Development of functional product from yak meat. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 127-132. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.016. EDN: <https://elibrary.ru/HYDCAZ>.

ВВЕДЕНИЕ

Функциональные продукты с каждым днем становятся популярными, так как в своем составе имеют компоненты, благотворно влияющие на здоровье человека, повышающие его сопротивляемость болезням, улучшающие многие физиологические процессы в организме и дающие ему реальную возможность противостоять агрессивным воздействиям окружающей среды в условиях значительного ухудшения экологической обстановки [1, 2, 3].

Функциональные продукты питания со своими потребительскими свойствами включают три составляющих: пищевую ценность, вкусовые качества и направленное физиологическое воздействие. Традиционные продукты характеризуются только первыми двумя составляющими.

Функциональные продукты не являются лекарством и не могут вылечить человека от конкретного заболевания, но они чрезвычайно эффективны в профилактике широкого спектра заболеваний.

Дефицит железа в организме приводит к возникновению анемии, что приводит к нарушению ферментных реакций и снижению иммунитета. По статистическим данным, в Кыргызстане заболевания, связанные с недостаточностью железа, составляют у беременных – 37,8 %, небеременных – 34,2 % и детей – 42,6 %, не выявленных женщин с дефицитом железа – 41 %. Это связано с недостаточностью железа, в частности, гемового железа [7].

Поэтому учитывая эти факторы, т.е. нехватку железа, в нашей стране нами была поставлена задача разработать новый функциональный продукт из мяса яка.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для выработки вареного рулета было выбрано мясо яка трехлетнего возраста Айкольской породы, обитающей в Атбашинском

районе Нарынской области Кыргызстана. Для эксперимента использовано мясо из лопаточной части охлажденной туши, хранившейся после убоя при температуре 0–4 °С в течение 96 часов по ГОСТ 9959-2015 Мясо и мясные продукты. Общие условия проведения органолептической оценки [13].

В качестве добавки была использована ламинария китайского производства, имеющаяся в торгово-розничной сети и рынках страны. Ламинария в сушеном виде по действующей нормативной-технической документации.

Для оценки качества разработанного продукта были использованы как традиционные методы определения влаги, жира, белка, золы [11], так и определен минеральный состав. Минеральный состав был определен методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на спектрометрах ICAР 6000/7000/PRO № 5421 [12].

Органолептические исследования проводили по 9-балльной системе.

Результаты и их обсуждение. В данной работе в качестве исследуемого образца был выбран рулет вареный из свинины с заменой свинины на мясо яка.

Мясо яка было выбрано в связи с тем, что оно, как любое другое мясное сырье, является источником белков, а вместе с ними и незаменимых аминокислот, кроме того, это мясо содержит значительное количество легко усвояемого железа (4,0–5,5 мг/100г), по сравнению с говядиной больше в 2 раза. Далее были определены химический и минеральный состав мяса яка.

Поскольку на химический состав мяса влияет среда, где выращиваются животные, нами конкретно были выбраны яки кыргызского экотипа 1-й категории упитанности айкольской породы (рис. 1). Айкольская порода яков по живой массе, основным промерам и индексам телосложения, характеризующим мясность

РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПРОДУКТА ИЗ МЯСА ЯКА

скота, имеют преимущество над яками южного (пёстрого) генотипа и кыргызской популяции. Учитывая специфику строения туши яка, опыты проводились на мясе лопаточной туши яка.

В результате экспериментальных исследований был определен химический состав лопаточной части мяса яка, который представлен в таблице 1.

Из данных таблицы 1 видно, что, в мясе яка содержится больше белка (23,3 % по сравнению с говядиной 17,8 %), что свидетельствует о высокой его пищевой ценности [4, 5].

Далее был исследован минеральный состав лопаточной части мяса яка (табл. 2).

Таблица 1 – Химический состав лопаточной части мяса яка

Table 1 – Chemical composition of the shoulder blade of yak meat

Наименование сырья	Количество, %			
	Влаги	Белка	Жира	Золы
Мясо яка	72,5±7,25	23,3	2,73±0,40	1,00±0,15
Говядина	72±0,13	17,8	4,99±0,65	1,05±0,40

Таблица 2 – Минеральный состав мяса яка (лопаточная часть)

Table 2 – Mineral composition of yak meat (shoulder blade)

Наименование минеральных веществ	Количество минеральных веществ на 100 г продукта
Макроэлементы, мг	
Калий	401,10
Кальций	6,60
Натрий	51,60
Магний	23,90
Фосфор	316,20
Железо	4,95
Микроэлементы, мкг	
Иод	3,82
Алюминий	250,00
Кобальт	1,40
Марганец	28,00
Медь	130,00
Литий	14,00
Ванадий	1,00
Хром	120,00
Цинк	930,00
Селен	29,00
Бор	58,00
Никель	79,00
Олово	23,00

Из таблицы 2 видно, что содержание железа (гемового железа) в мясе яка достигает почти 5 мг на 100 г продукта. Это превышает в несколько раз содержание железа в других видах мяса.

Поскольку гемовое железо необходимо для человека, то мы считаем, что мясо яка может быть сырьем для выработки продукта, предназначенного для больных железодефицитной анемией.

Еще одним из важных минеральных веществ, с нашей точки зрения, является йод,



Рисунок 1 – Як кыргызского экотипа
Figure 1 – The Yak of the Kyrgyz ecotype

так как население Кыргызской Республики проживает в условиях природного дефицита йода. Результаты исследований, проведенные учеными в большинстве областей Кыргызской Республики, свидетельствовали о наличии среднетяжелой зубной эндемии. Статистические данные подтверждают актуальность проблемы дефицита йода в стране следующими цифрами: болезни щитовидной железы, связанные с нехваткой йода, у беременных – 61,6 %, детей – 43, 1 % [7].

В литературных данных указывается, что в ламинарии содержится большое количество йода [8]. Учитывая вышесказанное, в качестве добавки для выработки мясного продукта использовали ламинарию.

Ламинария является природным источником йода, содержащая большое количество йода (в среднем до 0,3 % от сухого веса), который содержится в комплексе с сопутствующими для лучшего усвоения организмом веществами, такими как селен, железо,

цинк, медь. Количество йода в ламинарии различается в зависимости от периода сбора – от 50 до 700 мкг йода/100 г [6, 9, 10].

Далее был исследован химический состав ламинарии сушеной китайского производства, имеющийся в продаже торговой розничной сети и рынках страны.

Исследованы такие показатели ламинарии, как содержание влаги, белка, жира и золы. Данные представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Химический состав сушеной ламинарии

Table 3 – Chemical composition of dried kelp

Наименование сырья	Количество, %			
	Влаги	Белка	Жира	Золы
Ламинария сушеная	4,30	4,50	0,85	60,00

Химический состав ламинарии, исследованной нами, отличался низким содержанием белка и влаги и высоким содержанием

золы, а по количеству жира данные согласуются данными ученых [4].

Данные минерального состава ламинарии представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Минеральный состав ламинарии сушеной

Table 4 – Mineral composition of dried kelp

Наименование минеральных веществ	Количество минеральных веществ на 100 г продукта
Макроэлементы, мг	
Калий	2412,10
Кальций	273,30
Натрий	152,30
Магний	118,30
Фосфор	185,10
Железо	43,50
Микроэлементы, мкг	
Йод	516,00
Алюминий	3400,00
Кобальт	26,00
Марганец	1850,00
Медь	1690,00
Литий	40,00
Ванадий	80,00
Хром	580,00
Никель	360,00
Цинк	6630,00
Селен	30,00
Олово	20,00

Результаты анализа минерального состава ламинарии свидетельствуют о достаточно большом содержании йода – 516 мкг/100.

Полученные данные подтверждают о целесообразности использования мяса яка и ламинарии как сырья для выработки функционального продукта.

В качестве функционального продукта нами разработан вареный рулет (за основу был выбран вареный рулет «Ростовский» ГОСТ 18236-85).

Технологическая схема производства предлагаемого мясного продукта, а именно рулета вареного, следующий: разделка туши→обвалка→жиловка→шприцевание рассолом, 30–35 % от массы сырья→массирование→заливка рассолом, 40–50 % к массе сырья→выдержка 1–2 суток при 4 °С→натирка ламинарией→формовка, вязка → упаковка под вакуумом → тепловая обработка → охлаждение → маркировка.

Были приготовлены 7 образцов рулета с добавлением от 0,25 % до 2,5 % к массе сы-

РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПРОДУКТА ИЗ МЯСА ЯКА

рья и контрольный образец без добавления ламинарии. Изготовленные образцы были подвергнуты органолептической оценке.

Наилучшими результаты были с добавлением 1,5 %.

По итогам исследований было установлено, что органолептические показатели рулетов, приготовленных по семи вариантам рецептур, свидетельствуют о том, что

наилучшее качество готового продукта было в образцах № 4 и № 5, которые обладали великолепными вкусовыми характеристиками и отвечали всем требованиям. Основным ограничением был ярко выраженный запах ламинарии. Органолептическим методом был выбран образец № 5, дозировка 1,5 % порошка ламинарии, для разработки функционального продукта из мяса яка (рисунок 2).

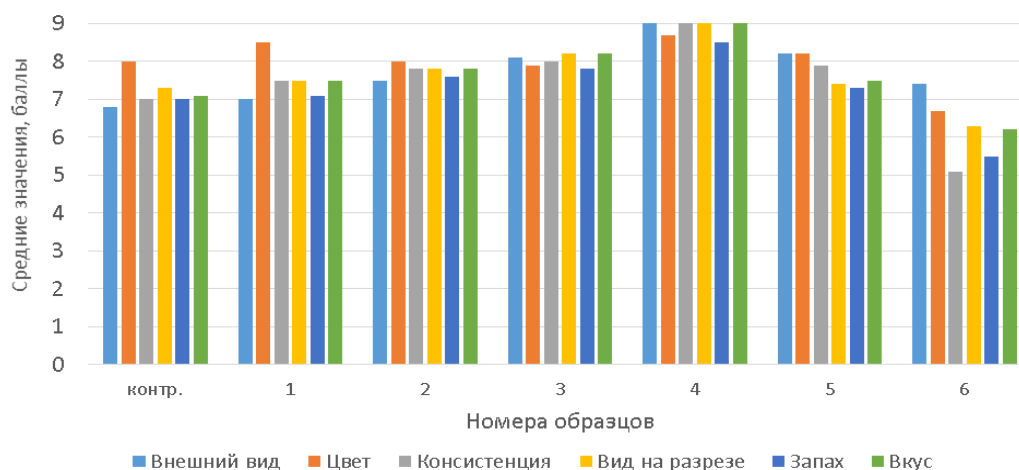


Рисунок 2 – Органолептические показатели анализируемых образцов
Figure 2 – Organoleptic characteristics of the analyzed samples

Далее был определен минеральный состав готового рулета с ламинарией до и после тепловой обработки и контрольного об-

разца для сравнительного анализа потерь компонентов при тепловой обработке продукта (табл. 5).

Таблица 5 – Минеральный состав контрольного образца и продукта с ламинарией
Table 5 – Mineral composition of the control sample and the product with kelp

Наименование минеральных веществ	Контрольный образец	Готовый продукт (с ламинарией)	
	после тепловой обработки	до тепловой обработки	после тепловой обработки
Макроэлементы в мг/100 г			
Калий	310,9	464,5	330,4
Кальций	25,6	38,6	27,3
Магний	16,2	19,5	18,2
Натрий	921,5	1685,7	1022,0
Фосфор	402,9	407,9	403,2
Железо	3,51	7,74	5,03
Микроэлементы в мкг/100 г			
Йод	4,87	29,2	20,9
Алюминий	420,0	1380,0	730,0
Кобальт	2,0	3,0	2,85
Марганец	110,0	160,0	120,0
Медь	110,0	150,0	140,0
Литий	6,0	9,0	6,28
Ванадий	2,5	4,0	3,0
Хром	120,0	120,0	80,0
Цинк	1560	2890,0	1770
Селен	40,0	59,0	44,0
Бор	110,0	160,0	143,0
Никель	70,0	90,0	80,0
Олово	24,0	40,0	30,0

Полученные данные после тепловой обработки контрольного образца и продукта с ламинарией свидетельствуют о различном количестве железа и йода.

Так, количество железа в готовом продукте с ламинарией составляет 5,03 мг на 100 г, в то время как у контрольного образца 3,51 мг на 100 г.

Что касается йода, то его содержание в готовом продукте с ламинарией почти в 4 раза превышает контрольный образец.

Продукт считается функциональным, если обеспечивает 10–50 % суточной потребности, надежно гарантирует поддержание оптимальной обеспеченности организма ими практически при любых дефектах питания и в то же время не создает угрозы избытка этих веществ.

Учитывая суточную норму железа, равную 18 мг, в готовом продукте содержится 5,03 мг на 100 г, что удовлетворяет суточную потребность в данном элементе на 27,9 %, йода при суточной потребности в 150 мкг в готовом продукте содержится 20,9 мкг на 100 г, что покрывает суточную потребность на 13,9 %, в связи с чем готовый продукт можно назвать функциональным.

ВЫВОДЫ

Разработан новый функциональный продукт «Вареный рулет» из мяса яка, обогащенный ламинарией, установлено, что готовый продукт удовлетворяет суточную потребность в железе на 27,9 %, а йода – на 13,9 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кочеткова А.А. [и др.]. Современная теория позитивного питания и функциональные продукты // Пищевая промышленность. 1999. № 4. С. 16.
2. Чернуха И.М. Функциональные продукты – методологические, технологические и трофологические аспекты производства / И.М. Чернуха // Мясная индустрия. 2002. № 2. С. 21–22.
3. Чернуха И.М. Функциональные продукты на мясной основе – путь к оздоровлению населения России / И.М. Чернуха, А.Б. Лисицын // Мясная индустрия. 2003. № 1. С. 12–15.
4. Кошоева Т.Р. Разработка технологии продуктов из мяса яка : автореф. дис ... канд. техн. наук : 05.18.04. Б., 2008.
5. Алымбеков К.А. Мясная продуктивность яков

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 16 марта 2023; одобрена после рецензирования 18 сентября 2023; принята к публикации 20 ноября 2023.

The article was received by the editorial board on 16 Mar 2023; approved after editing on 18 Sep 2023; accepted for publication on 20 Nov 2023.

киргизского экотипа // Материалы Международной научно-практической конференции / Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева. М., 2014. Т. 4. С. 11–15.

6. Маслова Е.Ю., Салаткова Н.П., Каледина М.В., Лупандина Н.Д. Разработка технологии йод-содержащих мясных полуфабрикатов. Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2014; (1). 89–93.

7. Статистические данные Министерства Здравоохранения КР Заболеваемость населения отдельными заболеваниями за 2021 г.

8. Кожухова А.А. Разработка комплексной технологии функциональных продуктов из ламинарии: автореф. дис. ... канд. мед. наук : 05.18.01 / Кожухова Анна Анатольевна. Москва, 2006. 40 с.

9. Липатов И.Б. Разработка технологии и рецептур изделий из бисквитного и дрожжевого теста с использованием альгинатов и ламинарии : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.15 / Липатов Игорь Борисович. Санкт-Петербург, 2004. 122 с.

10. Нестерова В.А. Разработка и товароведная оценка хлебобулочных изделий, обогащенных йодом и селеном : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.15. Кемерово, 2012. 149 с.

11. Журавская Н.К., Гутник Б.Е., Журавская Н.А. Техно-химический контроль производства мяса и мясопродуктов. М. : Колос. 2001. 174 с.

12. ГОСТ 30538-97 Продукты пищевые. Методика определения токсичных элементов атомно-эмиссионным методом.

13. ГОСТ 9959-2015 Мясо и мясные продукты. Общие условия проведения органолептической оценки.

14. ГОСТ 18236-85 ГОСТ Продукты из свинины вареные. Технические условия.

Информация об авторах

Б. С. Тамабаева – кандидат технических наук, профессор Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова.

Э. М. Абакирова – аспирант, старший преподаватель Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова.

Information about the authors

B. S. Tamabaeva - candidate of technical sciences, professor Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov.

E. M. Abakirova - postgraduate student, senior lecturer Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 663.674

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.017



СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СОСТАВА СТАБИЛИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ КАМЕДЕЙ ДЛЯ ТРАДИЦИОННОГО МОРОЖЕНОГО В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

Антонина Анатольевна Творогова ¹, Анна Валентиновна Ландиховская ²,
Светлана Евгеньевна Кочнева ³

^{1, 2, 3} Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» Российская академия наук, Москва, Россия

¹ antvorogova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7293-9162>

² anna.landih@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5881-2309>

³ skochneva01@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6599-1744>

Аннотация. Дефицит и высокая цена на камедь рожкового дерева – наиболее эффективный гидроколлоид в производстве мороженого – вызывают необходимость замены его как доминирующего компонента стабилизационных систем. Исследована возможность создания композиций гидроколлоидов с доминированием других камедей (гуаровой, тары и ксантановой), заменой каппа каррагинана на йота, использованием эмульгаторов на основе дистиллированных моноглицеридов. Определены технологически значимые показатели качества мороженого с массовой долей молочного жира 12 % с использованием новых композиций гидроколлоидов и эмульгаторов. Высокий уровень динамической вязкости достигался при доминировании камедей ксантановой или гуаровой (при использовании ксантановой), камеди тары в присутствии каппа каррагинана. В случае совместного использования камедей ксантановой и тары значение вязкости превышало уровень 1000 мПа·с при градиенте сдвига на срез 0,41 с⁻¹. Наименьшая твердость образцов получена при доминировании камеди тары в присутствии камеди рожкового дерева или ксантановой камеди в композиции с камедью тары и каппа каррагинаном. Наибольшей твердостью характеризовались образцы, в состав которого входил йота-каррагинан. Установлено, что используемые композиции эмульгаторов обеспечивают высокую термоустойчивость готового продукта, но незначительно снижают дисперсность воздушной фазы. Массовая доля плава через 2 ч выдерживания не превысила 10 % в экспериментальных образцах, в контроле – 18 %. Тенденции, установленные в исследовании, могут быть использованы при создании новых композиций стабилизаторов с учетом химического состава мороженого на предприятиях, целенаправленно изготавливающих комплексные пищевые добавки и производящих мороженое.

Ключевые слова: доминирующий гидроколлоид, замена камеди рожкового дерева, дистиллированные моноглицериды, вязкость смеси, твердость и термоустойчивость мороженого.

Благодарности: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № FGUS-2022–0013 Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук.

Для цитирования: Творогова А. А., Ландиховская А. В., Кочнева С. Е. Совершенствование состава стабилизационных систем на основе камедей для традиционного мороженого в условиях импортозамещения // Ползуновский вестник. 2023. № 4, С. 133–139. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.017. EDN: <https://elibrary.ru/OBLWFF>.

Original article

IMPROVEMENT OF COMPOSITION OF GUM-BASED STABILIZATION SYSTEMS FOR PRODUCTION OF TRADITIONAL ICE CREAM UNDER CONDITIONS OF IMPORT SUBSTITUTION

Antonina A. Tvorogova¹, Anna V. Landikhovskaya², Svetlana E. Kochneva³

^{1, 2, 3} All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry - branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Science, Moscow, Russia

¹ antvorogova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7293-9162>

² anna.landih@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5881-2309>

³ skochneva01@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6599-1744>

Abstract. *The scarcity and high price of locust bean gum, which is the most common hydrocolloid in ice cream production, causes the necessity of its replacement as a dominant component of stabilization systems. The possibility of creating compositions of hydrocolloids with the dominance of other gums (guar, tara and xanthan), by replacing kappa carrageenan with iota, using of emulsifiers based on distilled monoglycerides has been studied. The technologically significant indicators of ice cream quality with the mass fraction of milk fat 12% with use of new compositions of hydrocolloids and emulsifiers were determined. The high level of dynamic viscosity was achieved with dominance of xantan gum or guar gum (with xanthan gum usage), tara gum in the presence of kappa carrageenan gum. In case of the combined use of xanthan gums and tara, the viscosity value exceeds the level of 1000 mPa·c with a shear gradient of 0,41 c⁻¹. The least hardness of samples was obtained with the dominance of tara gum in the presence of locust bean gum or xanthan gum in composition with tara gum and kappa carrageenan. The largest hardness belonged to the samples containing yota carrageenan in its composition. The compositions of emulsifiers used provide high thermal stability of the finished product but slightly reduce the dispersion of the air phase. The mass fraction of melt in 2 hours of holding did not accede 10% in the experimental samples, in control 18%. The trends established in this study can be used for creation of new compositions of stabilizers, taking into account the chemical composition of ice cream at enterprisers purposefully manufacturing complex food additives and producing ice cream.*

Keywords: *dominant hydrocolloid, locust bean gum replacement, distilled monoglycerides, mixture viscosity, ice cream hardness and thermal stability of ice cream.*

Acknowledgements: *The article is prepared as part of the research under the State Assignment No. FGUS-2022-0013 of Gorbatov Federal State Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences.*

For citation: Tvorogova, A. A., Landikhovskaya, A. V., Kochneva, S. E. (2023). Improvement of composition of gum-based stabilization systems for production of traditional ice cream under conditions of import substitution. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 133-139. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.017. EDN: <https://elibrary.ru/OBLWFF>.

ВВЕДЕНИЕ

Неотъемлемой составной частью мороженого, как структурированного продукта, являются комплексные стабилизаторы-эмульгаторы. Чаще всего в составе комплексных пищевых добавок используют моно- и диглицериды жирных кислот, камедь рожкового дерева, гуаровую камедь, карбоксиметилцеллюлозу, натриевую соль и каррагинан [1, 2]. Несмотря на незначительное их содержание в продукте (0,35–0,7%), стабилизаторы-эмульгаторы выполняют в формировании структуры и консистенции мороженого важную технологическую функцию [Ошибка! Незвестный аргумент ключа.]. Эмульгаторы

в составе стабилизационных систем составляют весомую долю (50–73 %), представлены в основном моно- и диглицеридами с различным содержанием ненасыщенных жирных кислот [4], оказывающих влияние на количество дезэмульгированного и агломерированного жира. Жир в таком состоянии способствует насыщению продукта воздухом, дополнительно стабилизируя образующиеся в процессе фризирования воздушные пузырьки [5]. Эффективность процессов, происходящих в смесях для мороженого при созревании, косвенно оценивается по изменению вязкости, как правило, увеличивается [6]. В настоящее время на рынке появились более до-

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СОСТАВА СТАБИЛИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ КАМЕДЕЙ ДЛЯ ТРАДИЦИОННОГО МОРОЖЕНОГО В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

ступные для использования эмульгаторы, в технологической функциональности которых оцениваются дополнительно пенообразующие и загущающие способности. Гидроколлоиды, являясь полисахаридами и белками, прежде всего посредством взаимодействия с водой, повышают вязкость растворов или в определенных количествах или композициях образуют гели [7]. Белки являются пенообразователями и стабилизаторами воздушной фазы. Кроме того, благодаря влиянию на вязкость, гидроколлоиды повышают термо- и формоустойчивость мороженого и ингибируют рост кристаллов льда в процессе хранения [6, 8]. Гидроколлоиды могут быть природного и химического происхождения [6].

В значительной степени ассортимент и состав комплексных стабилизаторов-эмульгаторов на российском рынке обусловлен оптимальным соотношением показателей цена-качество. Тридцатилетний период применения стабилизационных систем в России показал преимущества композиций с доминированием камеди рожкового дерева. В связи с резким удорожанием камеди рожкового дерева из-за вызванного неблагоприятными условиями культивирования дефицита существует необходимость разработки комплексных пищевых добавок, обладающих характерными или близкими свойствами к этому полисахариду. Можно предположить, что в большей степени заменить камедь рожкового дерева смогут близкие к ней по свойствам и строению молекул другие камеди. Гуаровая камедь, являясь эффективным и сравнительно недорогим гидроколлоидом, часто используется в составе стабилизационных систем в качестве доминирующего гидроколлоида, в то время как применение камедей тары и ксантановой на российском рынке в качестве доминирующих гидроколлоидов в стабилизационных системах для мороженого не прослеживается. Камедь тары может терять свою стабилизационную способность в сильно выраженной кислотной и щелочной среде и при высоких температурах. А в нейтральной среде, характерной для мороженого без продуктов переработки фруктов, эта камедь обеспечивает стабильное состояние смеси и мороженого. Установлено, что в растворах 0,3 % концентрации максимально достигаемая вязкость в ряду камедей гуаровая – рожкового дерева – ксантановая соотносится как 4 : 2 : 1 [9]. Камедь тары близка по свойствам одновременно к камедям рожкового дерева и гуаровой, поставляется из Южной Америки, в связи с этим представляет интерес для использования в производстве мороженого как доминирующий стабилизатор [5, 7]. При за-

мене камеди рожкового дерева на другие камеди стоит рассмотреть вопрос о замене каппа каррагинана на его разновидность йота, поскольку его применение было обусловлено синергизмом с камедью рожкового дерева. Интерес к использованию йота каррагинана возникает в связи с его способностью образовывать прочные тиксотропные гели. Известно, что йота каррагинан позволяет получать эластичные, упругие прозрачные гели, устойчивые в процессах замораживание-оттаивание [1, 2].

Использование каррагинана в составе стабилизационных систем целесообразно, поскольку он состоит из калиевых, натриевых, магниевых и кальциевых сульфатных сложных эфиров галактозы, участвующих в формировании структуры.

Учитывая, что гидроколлоиды одного и того же наименования могут заметно отличаться по вязкости при одинаковой концентрации, в частности гуаровая камедь в 2,3, ксантановая в 2,2, рожкового дерева в 1,75 раза, необходимо контролировать показатели вязкости смеси и термоустойчивости мороженого [9, 10].

С учетом заметно изменившегося состава стабилизационных систем на рынке сырья отдельные предприятия самостоятельно пытаются разрабатывать их разновидности или используют композиции новых поставщиков. При этом нередко возникают проблемы технологического характера. В связи с этим разработка композиций гидроколлоидов в отсутствие камеди рожкового дерева с использованием эмульгаторов на основе дистиллированных моноглицеридов или их композиций с диглицеридами представляет важную технологическую задачу.

МЕТОДЫ

Образцы мороженого пломбир с массовой долей молочного жира 12 % имели состав, предусмотренный ТР ТС 033/2013 [11] и вырабатывались в соответствии с ТТИ ГОСТ 31457-2012, включая все основные стадии производства. В качестве источника жира использовалось сливочное масло с м.д.ж. 82,5 % по ГОСТ Р 32261-2013, сухое обезжиренное молоко по ГОСТ 33629-2015, сахар по ГОСТ 33222-2015 и разработанные составы комплексных пищевых добавок (табл. 1).

Динамическую вязкость смеси определяли с использованием ротационного вискозиметра DVII+Pro с программным обеспечением Reocalc V3.1-1 (Brookfield, США). Исследование проводили при постоянной температуре (4±0,5) °С.

Показатели твердости были получены с использованием анализатора структуры LFRA Texture Analyzer (Brookfield, США) с ПО Texture Pro Lite v1.

Тест на термоустойчивость образцов проводили при постоянной температуре внутри термостата ($20 \pm 1,5$) °С, определяли массовую долю плава, образующуюся через 60 мин и до достижения 120 мин с шагом в 10 мин.

Определение размеров воздушных пузырьков проводили путем получения микрофотографий на микроскопе Olympus CX-41 при увеличении 100 и подсчетом в программе Image Scope [12].

Таблица 1 – Качественный состав стабилизационных систем

Table 1 – Qualitative composition of stabilization systems

Наименование пищевых добавок	Образцы							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Моноглицериды жирных кислот GSM 90 (E 471)	+	+	+	–	+	+	+	+
Моно- и диглицериды жирных кислот GSM 60 (E 471)	–	–	–	+	–	–	–	–
Гуаровая камедь (E 412)	+д	+	+д	+	+	–	+д	–
Ксантановая камедь (E 415)	–	–	+	–	–	–	–	+д
Камедь тары (E 417)	–	+д	–	+д	+д	+д	–	+
Камедь рожкового дерева (E 410)	+	–	–	–	+	+	+	–
Каррагинан (йота) (E 407)	+	+	+	+	–	–	–	–
Каррагинан (каппа) (E 407)	–	–	–	–	+	+	+	+

д – доминирующий гидроколлоид в композиции

При разработке композиционных систем принимали во внимание, что динамическая вязкость растворов каррагинана при концентрации 0,03 % у йота разновидности составляет 71 мПа·с, у каппа – 198 мПа·с.

Композиционный состав образца № 7 соответствовал составу для мороженого эконом-класса, широко применяемому на предприятиях отрасли. Особенности композиций в сравнении с образцом № 7 заключались в следующем:

- № 1 каппа каррагинан заменен на йота;
- № 2 взамен камеди рожкового дерева использована камедь тары, каппа каррагинана – йота;
- № 3 взамен камеди рожкового дерева использована ксантановая камедь, каппа каррагинана – йота;
- № 4 использован менее активный эмульгатор, взамен камеди рожкового дерева использована камедь тары, каппа каррагинана – йота;
- № 5 дополнительно использована камедь тары;

Таблица 2 – Динамическая вязкость смеси и твердость мороженого

Table 2 – Dynamic viscosity and hardness of ice cream

Образцы	Наименование показателя			
	Вязкость смеси до созревания, мПа·с	Вязкость смеси после созревания, мПа·с	Изменение вязкости в процессе созревания, %	Твердость, г
1	322	382	+18,6	1187,1±168,2
2	509	549	+7,8	1157,6±199,1
3	797	830	+4,1	834,3±209,9
4	623	648	+4,0	951,5±133,7
5	382	426	+11,5	627,6±222,2
6	526	626	+19	619,4±133,6
7	488	478	–0,2	773,1±171,2
8	1157	1097	–5,8	474,4±49,9

Обработку данных и построение графиков делали в программах Statistica 10 и Past 4.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На первой стадии исследований были разработаны композиции стабилизаторов-эмульгаторов на модельных растворах с учетом достигаемой вязкости до замораживания и после размораживания (табл. 1).

- № 6 гуаровая камедь заменена на камедь тары;

- № 8 использована новая композиция камедей ксантановой и тары.

Со всеми стабилизационными системами были выработаны 8 образцов мороженого пломбир с массовой долей жира 12 % в соответствии с ТТИ ГОСТ 31457-2012. В качестве эмульгаторов использовали моноглицериды (GMS 90) и их смесь с диглицеридами (GMS 60).

Определены вязкость смеси и твердость мороженого (таблица 2). При исследовании динамической вязкости смесей для мороженого при градиенте сдвига на срез $0,41 \text{ с}^{-1}$ было установлено, что замена каппа каррагинана на йота привела к снижению этого показателя в 1,5 раза. Меньшим значением по сравнению с контролем характеризовалась вязкость смеси при использовании трех камедей одновременно. Наибольшая вязкость была достигнута при использовании ксантановой камеди в композиции с гуаровой (образец 3) и камедью тары (образец 8).

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СОСТАВА СТАБИЛИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ КАМЕДЕЙ ДЛЯ ТРАДИЦИОННОГО МОРОЖЕНОГО В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

Обращает внимание полученный результат по изменению вязкости смесей в процессе созревания. Традиционное для смесей повышение вязкости отмечено лишь в образцах № 1 и № 6, сниженное – в образцах № 2 и № 5, маловыраженный эффект характерен для остальных 4 образцов. Научный и практический интерес представляет установление причин такого явления. Возможно, что при созревании смеси все-таки происходят физические изменения в жировой фазе, приводящие к диффузии белка в смесь, а причиной снижения вязкости является непрочное удерживание молекул воды гидроколлоидами, как это отмечалось ранее при использовании натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы [7].

Установлена обратно пропорциональная зависимость между показателями динамической вязкости и твердости в образцах № 1,

№ 2 и № 8. Отмечена наименьшая твердость образцов при использовании композиций камедей ксантановой и тары (образец 8), тары и рожкового дерева (образец 6) и совместном использовании камедей тары, гуаровой и рожкового дерева (образец 5). Обращает внимание и тот факт, что образцы мороженого, в состав которого входил йота-каррагинан, характеризуются наиболее высокой твердостью. Но является ли это закономерностью, предстоит определить в дальнейших исследованиях.

При определении термоустойчивости мороженого установлено, что используемые новые эмульгаторы обеспечивают высокое значение этого показателя. В образцах № 1–6 и № 8 массовая доля плава даже через 2 ч выдерживания не превысила 10 %, в образце № 7 – 18 %.

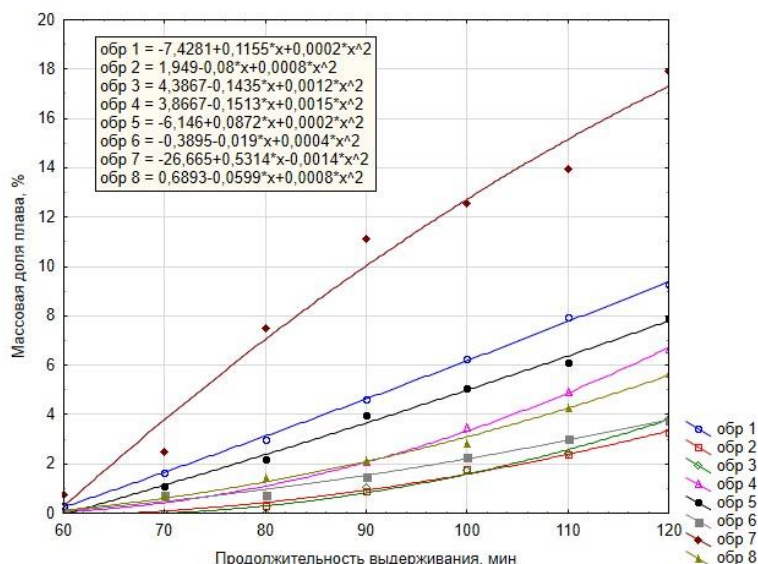


Рисунок 1 – Зависимость массовой доли плава от продолжительности выдерживания

Figure 1 – The dependence of mass fraction of melt on the duration of exposure

Состояние воздушной фазы также зависит от компонентного состава комплексных пищевых добавок. Микрофотографии воздушной фазы в мороженом после закалива-

ния представлены на рисунке 2, средний диаметр и доля воздушных пузырьков до 50 мкм и 70 мкм представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Показатели дисперсности воздушной фазы в мороженом

Table 3 – Parameters of air phase dispersion in ice cream

Образцы	Наименование показателя		
	Средний диаметр воздушных пузырьков, мкм	Доля воздушных пузырьков, %	
		до 50 мкм	до 70 мкм
1	33,6±0,61	82	95
2	36,1±0,58	78	95
3	42,8±0,81	67	88
4	44,9±1,0	63	87
5	47,3±1,2	59	83
6	38,4±0,82	75	91
7	37,7±0,7	76	94
8	35,6±0,6	78	95

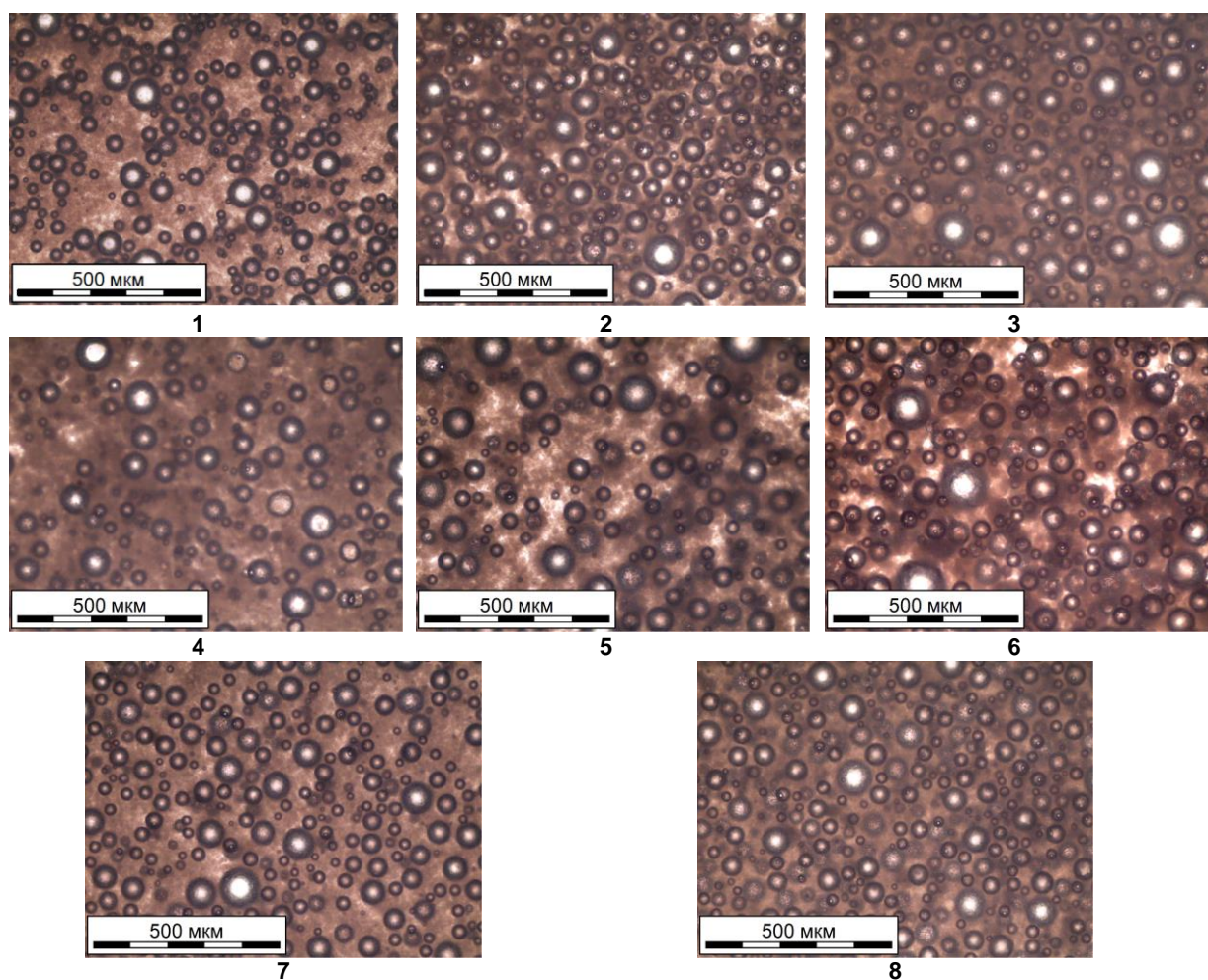


Рисунок 2 – Микрофотографии воздушной фазы в образцах мороженого
Figure 2 – Micrographs of air phase dispersion in ice cream

Наименьшая дисперсность была достигнута в 5 образце с использованием 3-х камедей и образце № 4 с наименьшим содержанием моноглицеридов в составе эмульгатора. В целом дисперсность воздушной фазы в образцах оказалась несколько ниже, чем это бывает при использовании традиционных эмульгаторов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На примере доступных гидроколлоидов и эмульгаторов с доминированием моноглицеридов показано влияние различных составов на технологически значимые показатели качества. Результаты исследований показали:

- стабилизационные системы с доминированием камеди тары обеспечивают необходимый для формирования структуры уровень вязкости, но в композиции с йота каррагинаном вызывают увеличение твердости мороженого;

- при доминировании в составе стабилизационной системы гуаровой камеди наибольшая вязкость достигается при совместном использовании ксантановой камеди или камеди рожкового дерева и каппа каррагинана;

- наибольшая вязкость смеси и наименьшая твердость продукта получена при доминировании ксантановой камеди;

- эмульгаторы на основе моноглицеридов обеспечивают высокую термоустойчивость мороженого с массовой долей жира 12%.

Исследования показали, что в отсутствие камеди рожкового дерева или при ее незначительном наличии в стабилизационной системе можно получить эффективные композиции стабилизаторов с доминированием камедей тары, гуаровой и ксантановой. Результаты исследований могут быть полезны предприятиям при принятии технологических решений в условиях импортозамещения стабилизаторов и эмульгаторов стабилизационных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Soukoulis Ch., Chandrinos I., Tzia C. Study of the functionality of selected hydrocolloids and their blends with k-carrageenan on storage quality of vanilla ice cream. LWT. Food Science and Technology. 2008. 41(10). P. 1816–1817. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.12.009>.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СОСТАВА СТАБИЛИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ КАМЕДЕЙ ДЛЯ ТРАДИЦИОННОГО МОРОЖЕНОГО В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

2. Bahram-Parvar M., Tehrani M.M., Razavi S.M.A. Effects of a novel stabilizer blend and presence of κ-carrageenan on some properties of vanilla ice cream during storage. *Food Bioscience*. 2013. Volume 3. P. 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2013.05.001>.

3. Ландиховская А.В., Творогова А.А. Нутриентный состав мороженого и замороженных десертов: современные направления исследований. *Пищевые системы*. 2021. 4(2). P. 74–81. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-74-81>.

4. Technical emulsifiers in aerosol whipping cream - compositional variations in the emulsifier affecting emulsion and foam properties / Blankart, M. [et al]. *International Dairy Journal*, Article 104578. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.104578>.

5. Pirsá S., Hafezi K. Hydrocolloids: Structure, preparation method and application in food industry. *Food Chemistry*. 2023. Volume 399. Article 133967. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133967>.

6. Творогова А.А. Применение ингредиентов в производстве мороженого, взбитых замороженных десертов и пищевых льдов // *Пищевые ингредиенты в продуктах питания: от науки к технологиям* : монография. М. : МГУПП, 2021. С. 472–498.

7. Be Miller J.N. Guar, Locust Bean, Tara and Cassia Gums. *Carbohydrate Chemistry for Food Scientists*, (2019). 241–252. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812069-9.00009-1>.

8. Deosarkar S.S. Ice Cream: Uses and Method of Manufacture. *Encyclopedia of Food and Health*. 2016. P. 391–397. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-384947-2.00384-6>.

9. Дополнительные главы технологии полимерных материалов. Водорастворимые полимеры : учеб. пособие / И.И. Осовская [и др.]. СПб. : ВШТЭ СПбГУПТД, 2022. 63 с.

10. Творогова А.А. Мороженое в России и СССР: теория, практика. Развитие технологий. СПб. : Профессия, 2021. 249 с.

11. ТР ТС 033/2013. О безопасности молока и молочной продукции. Режим доступа: URL : <https://docs.cntd.ru/document/499050562>. (дата обращения: 22.06.2023).

12. Гурский И.А., Творогова А.А. Микроструктурные и микробиологические показатели замороженных кисломолочных взбитых десертов при хранении // *Ползуновский вестник*. 2023. № 1. С. 84–90. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.011>.

Информация об авторах

А. А. Творогова – доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории технологии мороженого ВНИХИ – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.

А. В. Ландиховская – кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории технологии мороженого ВНИХИ – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.

С. Е. Кочнева – инженер лаборатории технологии мороженого ВНИХИ – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 27 февраля 2023; одобрена после рецензирования 18 сентября 2023; принята к публикации 20 ноября 2023.

The article was received by the editorial board on 27 Feb 2023; approved after editing on 18 Sep 2023; accepted for publication on 20 Nov 2023.

POLZUNOVSKIY VESTNIK № 4 2023

REFERENCES

1. Soukoulis, Ch., Chandrinis, I., Tzia, C. (2008). Study of the functionality of selected hydrocolloids and their blends with κ-carrageenan on storage quality of vanilla ice cream. *LWT. Food Science and Technology*, 41(10), 1816-1817. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.12.009>.

2. Bahram-Parvar, M., Tehrani, M.M., Razavi, S.M.A. (2013). Effects of a novel stabilizer blend and presence of κ-carrageenan on some properties of vanilla ice cream during storage. *Food Bioscience*, Volume 3, 10-18. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2013.05.001>.

3. Landikhovskaya, A.V., Tvorogova, A.A. (2021). Ice cream and frozen desserts nutrient compositions: current trends of researches. *Food systems*, 4(2), 74-81. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-74-81> (In Russ).

4. Blankart, M., Kratzner, C., Link, K., Oellig, C., Hinrichs, J. (2019). Technical emulsifiers in aerosol whipping cream - compositional variations in the emulsifier affecting emulsion and foam properties *International Dairy Journal*, Article 104578. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.104578>.

5. Pirsá, S., Hafezi, K. (2023). Hydrocolloids: Structure, preparation method, and application in food industry. *Food Chemistry*, Volume 399. Article 133967. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133967>.

6. Tvorogova, A.A. (2021). Application of ingredients in the production of ice cream, whipped frozen desserts and food ice // *Food ingredients in food products: from science to technology: monograph*. М. : MGUPP, 472-498. (In Russ).

7. BeMiller, J.N. (2019). Guar, Locust Bean, Tara and Cassia Gums. *Carbohydrate Chemistry for Food Scientists*, 241-252. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812069-9.00009-1>.

8. Deosarkar, S.S. (2016). Ice Cream: Uses and Method of Manufacture. *Encyclopedia of Food and Health*, 391-397. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-384947-2.00384-6>.

9. Osovskaya, I.I., Vasilieva, A.P., Borodina, A.M. (2022). Additional chapters of technology of polymeric materials Water-soluble polymers: study guide. СПб. : HSTESPbSUITD, 63 p. (In Russ).

10. Tvorogova, A.A. (2021). Ice cream in Russia and the USSR: Theory, practice. Technology development. St. Petersburg : Professiya, 249 p. (In Russ.).

11. On the safety of milk and dairy products. (2013). TR CU 033/2013. Retrieved from. <https://docs.cntd.ru/document/499050562>. (In Russ.).

12. Gurskiy, I.A., Tvorogova, A.A. (2021). Microstructural and microbiological indices of the frozen sour milk aerated desserts at storage. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 84-90. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.011>. (In Russ.).

Information about the authors

A. A. Tvorogova - doctor of technical sciences, chief researcher, the laboratory of ice cream technology, VNIKHI - Branch of Gorbатов Federal Research Center for Food Systems.

A. V. Landikhovskaya - Candidate of Technical Sciences, Research Associate, the laboratory of ice cream technology, VNIKHI - Branch of Gorbатов Federal Research Center for Food Systems.

S. E. Kochneva - engineer, laboratory of ice cream technology, VNIKHI - Branch of Gorbатов Federal Research Center for Food Systems.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.6

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.018



ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ ТОПИНАМБУРА ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Нэлли Николаевна Типсина ¹, Галина Александровна Демиденко ²,
Денис Александрович Кох ³

^{1, 2, 3} ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», г. Красноярск, Россия

¹ nellya.tipsina@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-2902-6693>

² demidenkoekos@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9268-585X>

³ dekoch@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3047-1386>

Аннотация. Хлебобулочные изделия являются важными продуктами для коррекции питания человека. Технологии производства продуктов питания, в том числе хлебобулочных изделий с использованием нетрадиционного сырья, – актуальная задача современности. На территории Красноярского края наблюдается дефицит потребления населением овощной, бахчевой, фруктово-ягодной продукции, являющейся источником микроэлементов, витаминов, пищевых волокон. Применение клубней топинамбура как нетрадиционного сырья в производстве витаминизированных продуктов является основой поступления в организм человека биологически активных веществ. Уникальная ценность топинамбура определяется, в первую очередь, его химическим составом. С топинамбуром человек получает комплекс биологически активных веществ, что делает его наиболее устойчивым к стрессам и болезням. Цель исследования – технология получения и применения полуфабрикатов из топинамбура для обогащения новых хлебобулочных изделий. Объект исследования – образцы сдобной булочки «Топинамбурная» как нового хлебобулочного изделия из пшеничной муки высшего сорта с добавлением сырой мякоти топинамбура. Использовались стандартные методы и методики исследований. Результаты выполненных исследований показали, что от других овощей топинамбур отличается уникальный углеводный комплекс на основе фруктозы и ее полимеров: фруктоолигосахариды и инулина. Клубни топинамбура обладают влажностью в 78 %, что в 5,2 раза превышает влажность сырой мякоти из топинамбура (15 %). Содержание сухих веществ, то есть всех имеющихся в овощах веществ, важнейший показатель, от которого зависят биохимические процессы при хранении продукции, в клубнях топинамбура велико (19,5 %) и имеет достаточное количество в сырой мякоти топинамбура (9,2 %). На основании полученных результатов экономическая эффективность разработанного изделия сдобной булочки «Топинамбурная» с добавлением сырой мякоти из топинамбура является рентабельной. Рентабельность составляет 20 %, поэтому выпуск сдобной булочки «Топинамбурная» возможен для расширения ассортимента и увеличения выработки изделий с использованием полуфабриката из нетрадиционного сырья.

Ключевые слова: исследование, клубни, топинамбур, технология, полуфабрикат, мякоть, сдоба, хлебобулочные изделия, инулин, показатели качества.

Для цитирования: Типсина Н. Н., Демиденко Г. А., Кох Д. А. Технология получения и применения полуфабрикатов из топинамбура для обогащения хлебобулочных изделий // Ползуновский вестник. 2023. № 4, С. 140–145. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.018. EDN: <https://elibrary.ru/WIDKIU>.

Original article

TECHNOLOGY OF PRODUCTION AND APPLICATION OF TOPINAMBOUR SEMI-FINISHED PRODUCTS FOR BAKERY ENRICHMENT PRODUCTS

Nelli N. Tipsina¹, Galina A. Demidenko², Denis A. Koch³

^{1, 2, 3} Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

¹ nellya.tipsina@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-2902-6693>

² demidenkoekos@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9268-585X>

³ dekoch@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3047-1386>

Abstract. Bakery products are important products for correction of human nutrition. Technologies of food production, including bakery products with the use of unconventional raw materials, is an urgent task of our time. In the Krasnoyarsk region there is a deficit of population consumption of vegetable, melons, fruit and berry products, which are a source of microelements, vitamins, dietary fiber. The use of topinambour tubers, as unconventional raw materials in the production of vitaminized products, is the basis for the receipt of biologically active substances in the human body. The unique value of topinambour is determined, first of all, by its chemical composition. With topinambour a person receives a complex of biologically active substances, which makes it the most resistant to stresses and diseases. The purpose of the study is the technology of obtaining and application of semi-finished products from topinambour for the enrichment of new bakery products. The object of the study - the samples of muffins "Topinambour" as a new bakery product made of the highest grade wheat flour with the addition of raw topinambour pulp. Standard research methods and techniques were used. The results of the studies performed have shown that the topinambour is distinguished from other vegetables by its unique carbohydrate complex based on fructose and its polymers: fructooligosaccharides and inulin. Topinambour tubers contain moisture content (78%), which is 5.2 times higher than the moisture content of raw topinambour pulp (15%). The content of dry substances, i.e. all the substances present in vegetables, the most important indicator on which biochemical processes during the storage of products, is high in the tubers of topinambour (19.5%) and has a sufficient amount in the raw pulp of topinambour (9.2%). Based on the results obtained, the economic efficiency of the developed product of muffin bun "Topinamburnaya", with the addition of raw pulp from topinambour, is profitable. Profitability is 20%, so the output of "Topinamburnaya" bun is possible to expand the assortment and increase the output of products using semi-finished products of unconventional raw materials.

Keywords: study, tubers, topinambour, technology, semi-finished product, pulp, muffins, bakery products, inulin, quality indicators.

For citation: Tipsina, N. N., Demidenko, G. A. & Koch, D. A. (2023). Technology of production and application of topinambour semi-finished products for bakery enrichment products. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 140-145. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.018. EDN: <https://elibrary.ru/WIDKIU>.

ВВЕДЕНИЕ

Объем потребляемых продуктов питания должен соответствовать физиологическим нормам человека, необходимо восполнять дефицит не только в основных пищевых веществах (белки, жиры и углеводы), но и микронутриентов (микро- и макроэлементов: йода, фтора, селена, кальция, железа и других), активно участвующих в обменных процессах организма человека.

На территории Красноярского края наблюдается дефицит потребления населением овощной, бахчевой, фруктово-ягодной продукции, являющейся источником микро-

элементов, витаминов, пищевых волокон [7]. Включение в продукты питания, обогащенных биологически активных веществ, позволит улучшить тип питания населения.

Хлебобулочные изделия являются важными продуктами для коррекции питания человека. Технологии производства продуктов питания, в том числе хлебобулочных изделий с использованием нетрадиционного сырья, – актуальная задача современности [4, 10–13].

Применение клубней топинамбура как нетрадиционного сырья в производстве витаминизированных продуктов является основой поступления в организм человека биологически активных веществ [1–3, 5, 6, 8, 9].

Уникальная ценность топинамбура определяется, в первую очередь, его химическим составом [5]. С топинамбуром человек получает комплекс биологически активных веществ, что делает его наиболее устойчивым к стрессам и болезням.

Цель исследования: технология получения и применения полуфабрикатов из топинамбура для обогащения новых хлебобулочных изделий на примере сдобная булочка «Топинамбурная».

Задачи исследования:

1. Технология получения полуфабрикатов из топинамбура и их исследование по органолептическим и физико-химическим показателям.

2. Технология разработки нового вида изделия сдоба «Топинамбурная» с использованием процентной замены полуфабриката из топинамбура и его пищевая ценность.

3. Дегустационная оценка изделий из топинамбура.

4. Расчет экономической эффективности производства изделий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объекты исследования: образцы сдобной булочки «Топинамбурная» как нового хлебобулочного изделия из пшеничной муки высшего сорта добавлением сырой мякоти топинамбура.

Исследования выполнены на кафедре технологии хлебопекарного, кондитерского и макаронного производств Института пищевых производств ФГБОУ ВО «Красноярский ГАУ». Использовались стандартные методы и методики исследований.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Питание, как и лекарственная терапия, играет ведущую роль в лечении и профилактике ряда заболеваний, например, диабета. Уникальный углеводный комплекс клубней топинамбура обогащает хлебобулочные изделия до уровня физиологической потребности человека. Химический состав клубней топинамбура представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав клубней топинамбура (осень, среднее значение за три года)

Table 1 – Chemical composition of jerusalem artichoke tubers (autumn, average value for three years)

Объект исследования	Содержание сухого вещества, %	Содержание вещества, % к сухому веществу					
		Пектиновые вещества	Инулин	БЭВ	Протеин	Зола	Жир
Клубни	19,50	9,12	78,80	78,10	10,60	1,50	1,15
БЭВ (безазотистые экстрактивные вещества)							

Анализ таблицы 1 показал, что в отличие от других овощей, топинамбур – уникальный углеводный комплекс на основе фруктозы и ее полимеров: фруктоолигосахаридов и инулина.

Таблица 2 – Физико-химические показатели клубней и сырой мякоти из топинамбура (осень, среднее значение за три года)

Table 2 – Physico-chemical parameters of tubers and raw jerusalem artichoke pulp (autumn, average value for three years)

Показатели	Клубни топинамбура	Сырая мякоть из топинамбура
Влажность, %	78,00	15,00
Кислотность, град.	0,19	0,45
Сухие веществ, %	19,50	9,20

Анализ таблицы 2 показал, что клубни топинамбура обладают повышенной влажностью (78 %), что в 5,2 раза превышает влажность сырой мякоти из топинамбура (15 %). Содержание сухих веществ, то есть всех имеющихся в овощах веществ, важнейший показатель, от которого зависят биохимические процессы при хранении продукции, в клубнях топинамбура велико (19,5 %) и имеет

Инулин – вещество, которое расщепляется в организме человека на молекулы фруктозы, необходим людям, болеющим сахарным диабетом. Физико-химические показатели и сырой мякоти из топинамбура показаны в таблице 2.

достаточное количество в сырой мякоти топинамбура (9,2 %).

При изготовлении нового хлебобулочного изделия – сдобной булочки «Топинамбурная» из муки высшего сорта с добавлением процентной замены муки на сырую мякоть из топинамбура – контролем являлась сдобная булочка «Выборгская» из пшеничной муки высшего сорта.

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ ТОПИНАМБУРА ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Расчет производственных рецептов производился на основе унифицированной рецептуры сдобной булочки «Выборгская» из пшеничной муки высшего сорта (таблица 3).

Таблица 3 – Унифицированная рецептура сдобной булочки «Выборгская» – контроль
Table 3 – Unified recipe of the "Vyborgskaya" muffin – control

Наименование сырья	Масса, кг
Мука пшеничная высшего сорта	100,00
Дрожжи прессованные	2,50
Соль пищевая	1,00
Сахар белый	20,00
Маргарин	7,00
Яйцо	1,000
Ванилин	0,05
Патока	2,0

Составление сводной рецептуры приготовления теста для образцов сдобной булочки «Топинамбурная» (с разной процентной заменой сырой мякоти топинамбура).

При составлении сводной рецептуры приготовления теста для образцов сдобной булочки «Топинамбурная» решалась задача использования процентной заменой сырой мякоти топинамбура (полуфабриката). В вариантах эксперимента (вариант 1 – контроль (сдобная булочка «Выборгская» – контроль); вариант 2 – 3 %; вариант 3 – 5 %; вариант 4 – 5 % сырой мякотью топинамбура (полуфабриката). В таблицах 4, 5 представлены рецептуры всех образцов и органолептических и физико-химических показателей качества сдобной булочки «Топинамбурная».

Таблица 4 – Сводная рецептуры приготовления теста для образцов сдобной булочки «Топинамбурная» (с разной процентной заменой сырой мякотью топинамбура)

Table 4 – Summary of the recipe for the preparation of dough for samples of the muffin "Jerusalem Artichoke-burnaya" (with different percentages of replacement with raw jerusalem artichoke pulp)

Сырье, г	Варианты эксперимента			
	Контроль	3 %	5 %	7 %
Мука пшеничная высшего сорта	63,7	63,18	62,88	62,53
Сырая мякоть из топинамбура	–	1,9	3,2	4,4
Дрожжи	1,6	1,6	1,6	1,6
Соль	0,64	0,64	0,64	0,64
Сахар белый	12,74	12,74	12,74	12,74
Маргарин	4,46	4,46	4,46	4,46
Яйцо	0,64	0,64	0,64	0,64
Ванилин	0,03	0,03	0,03	0,03
Патока	1,27	1,27	1,27	1,27
Вода	39,87	38,49	37,40	36,64

Таблица 5 – Анализ органолептических и физико-химических показателей качества сдобной булочки «Топинамбурная»

Table 5 – Analysis of organoleptic and physico-chemical quality indicators of the "Jerusalem Artichoke" pastry

Наименования показателя	Контроль	Варианты эксперимента		
		3 %	5 %	7 %
Органолептические показатели				
Поверхность	Гладкая			
Окраска	Правильная без подрывов			
Состояние мякиша	Белый с желтоватым оттенком			Белый с сероватым оттенком
Эластичность мякиша	Эластичный, не заминающийся			
Пористость	Равномерное		Недостаточно равномерное	
Физико-химические показатели				
Формоустойчивость	0,52	0,64	0,64	0,68
Влажность, %	37,8	37,1	36,6	24,8
Кислотность, град	2,2	1,54	1,54	1,32
Черствение, час	24	22	19	18

По результатам эксперимента, представленного в таблице 4, следует, что ближе к контролю являются показатели варианта 2, с процентной заменой муки высшего сорта на сырую мякоть топинамбура (полуфабриката) – 3 %. Анализ таблицы 5 также показал, что по органолептическим и физико-химическим показателям сдобной булочки «Топинамбурная» оптимальная дозировка сырой мякоти из топинамбура составила 3 % к массе пшенич-

ной муки высшего сорта. Булочка имеет нежный белый с желтоватым оттенком, эластичный мякиш, с достаточно равномерной пористостью.

Под дегустацией понимаем определение качества образцов продукции органолептическим путем, а именно: зрительно и с помощью вкуса и запаха. Дегустационная оценка позволила определить вкусовые качества нового хлебобулочного изделия (табл. 6).

Таблица 6 – Дегустационная оценка сдобной булочки «Топинамбурная» с добавлением сырой мякоти из топинамбура

Table 6 – Tasting evaluation of the Jerusalem Artichoke bun with the addition of raw Jerusalem artichoke pulp

Показатели	Коэффициент значимости	Число степеней качества	Число участников дегустации	Оценка изделия, баллы		
				3 %	5 %	7 %
Вкус, аромат	3	3	5	44	42	41
Структура и консистенция	4	3	5	58	57	56
Цвет и внешний вид	2	3	5	28	28	27
Форма	1	3	5	14	14	14
Суммарная оценка	10	–	–	144	141	139
Итоговая оценка	–	–	–	30,0	28,2	27,8

Анализ таблицы 6 показал, что оптимальной следует считать дозировку сырой мякоти из топинамбура, которая также составила 3 % к массе пшеничной муки высшего сорта. Этот образец имеет высшую максимальную оценку 30 баллов, так как имеет лучший вкус, структурную консистенцию и предлагается для проработки на предприятии. Для повышения спроса на предлагаемую продукцию необходимо снизить сумму затрат на ее производство, получив при этом максимальную прибыль. Также предлагаемая продукция должна иметь повышенное качество, высокую пищевую ценность и спрос у населения. Показатели экономической эффективности изделия представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Показатели экономической эффективности изделия сдобной булочки «Топинамбурная» с добавлением сырой мякоти из топинамбура

Table 7 – Indicators of the economic efficiency of the product of the To-pinamburnaya muffin with the addition of raw jerusalem artichoke pulp

Наименование показателя	Сдобная булочка «Топинамбурная»
Стоимость товарной продукции, руб.	53,4
Полная себестоимость, руб.	42,72
Прибыль от реализации, руб.	10,68
Рентабельность, %	20

На основании полученных данных, экономическая эффективность разработанного изделия сдобной булочки «Топинамбурная» с добавлением оптимальной процентной замены (3 %) сырой мякоти из топинамбура является рентабельной. Рентабельность составляет 20 %, поэтому выпуск сдобной булочки «Топинамбурная» возможен для расширения ассортимента и увеличения выработки изделий с использованием полуфабриката из нетрадиционного сырья.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тенденция обогащать продукцию биологически активными веществами на основе топинамбура способствует повышению качества продукции хлебобулочных изделий:

1) топинамбур отличает уникальный углеводный комплекс на основе фруктозы и ее полимеров: фруктоолигосахариды и инулин;

2) содержание сухих веществ – важнейший показатель, от которого зависят биохимические процессы при хранении продукции, в клубнях топинамбура велико (19,5 %) и имеет достаточное количество в сырой мякоти топинамбура (9,2 %);

3) по результатам эксперимента, ближе к контролю являются показатели варианта 2, с процентной заменой муки высшего сорта на сырую мякоть топинамбура (полуфабриката) – 3 %;

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ ТОПИНАМБУРА ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

4) этот образец имеет высшую максимальную оценку 30 баллов, так как имеет лучший вкус, структурную консистенцию и предлагается для проработки на предприятии;

5) рентабельность составляет 20 %, поэтому выпуск сдобной булочки «Топинамбурная» возможен для расширения ассортимента и увеличения выработки изделий с использованием полуфабриката из нетрадиционного сырья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильева Е.А. Использование добавок из топинамбура для расширения ассортимента продукции // Хранение и переработка сельскохозяйственного сырья, 2007, № 1. С. 51–53.

2. Высоцкий В.Г., Гулый И.С. Перспективные направления использования топинамбура в пищевой промышленности. Пищевая технология, 1999, № 9. С. 52–53.

3. Давидович Б.Н. Топинамбур в хлебобулочных изделиях. Хлебопродукты, 2002, № 6. С. 26–32.

4. Сафронова, Т.Н. Технологические аспекты получения пасты из топинамбура / Т.Н. Сафронова, Л.Г. Ермош // Хранение и переработка сельхозсырья. 2008. № 10. С. 20–23. EDN JVPRJX.

5. Кахана Б.М. Биохимия топинамбура / Б.М. Кахана, В.В. Арасимович. Кишинев : Штиинца, 1974. 88 с.

6. Кох Д.А. Функциональный ингредиент в производстве ржаного хлеба / Д.А. Кох, Ж.А. Кох // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития : Материалы международной научно-практической конференции, Красноярск, 20–22 апреля 2021 года. Том 1. Часть 2. Красноярск : Красноярский государственный аграрный университет, 2021. С. 298–302. EDN YNHTMP.

7. Климацкая Л.Г. Особенности среды обитания и здоровья населения Красноярского края / Л.Г. Климацкая, С.В. Куркатов. Красноярск : КГМА, 2002. 91 с.

8. Крикунова Л.Н., Чечеткин Д.В. Пектиновые вещества топинамбура: содержание, распространение по анатомическим частям, свойства // Хранение и переработка сельскохозяйственного сырья, 2006, № 5. С. 50–54.

9. Кузнецова Л.И., Меньшикова Г.В. Новые сорта хлеба с топинамбуром. Пищевая промышленность, 2003, № 12. С. 30–35.

10. Типсина, Н.Н. Использование растительного сырья в производстве кондитерских и хлебобулочных изделий / Н.Н. Типсина, Д.А. Кох,

А.Е. Туманова // Кондитерское и хлебопекарное производство. 2014. № 3–4(148). С. 42–43. EDN YNIMSG.

11. Типсина Н.Н., Демиденко Г.А. Влияние пшеничных отрубей на показатели качества готовых хлебобулочных изделий. Вестник КрасГАУ. 2022. № 11. С. 208–213.

12. Использование полуфабриката из *Armillaria borealis* в хлебопечении / Ж.А. Кох, Д.А. Кох, Ю.А. Литовка, И.Н. Павлов // Ползуновский вестник. 2021. № 3. С. 54–60. DOI 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.03.007. EDN FWUCQW.

13. Типсина Н.Н., Белоухов С.Л., Толмачева Т.А. Разработка технологии производства снежков с использованием растительного сырья // Вестник КрасГАУ. 2021. № 12. С. 275–281.

Информация об авторах

Н. Н. Типсина – д.т.н., профессор кафедры технологии хлебопекарного, кондитерских и макаронных производств ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», 660049, г. Красноярск, пр. Мира, 90, e-mail: nellya.tipsina@mail.ru, тел.: 8-908-207-0358.

Г. А. Демиденко – д.б.н., профессор, заведующая кафедрой ландшафтной архитектуры и ботаники ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», 660049, г. Красноярск, пр. Мира, 90, e-mail: demidenkoeos@mail.ru, тел.: 8-950-417-2705.

Д. А. Кох – к.т.н., доцент кафедры технологии хлебопекарного, кондитерских и макаронных производств ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», 660049, г. Красноярск, пр. Мира, 90, e-mail: dekoch@mail.ru, тел.: 8-908-025-7276.

Information about the authors

N. N. Tipsina - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technology of Bakery, Confectionery and Pasta Production FSBEI HE "Krasnoyarsk State Agrarian University", 660049, Krasnoyarsk, Mira Ave., 90, e-mail: nellya.tipsina@mail.ru tel.: 8-908-207-0358.

G. A. Demidenko - Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Landscape Architecture and Botany, Krasnoyarsk State Agrarian University, 660049, Krasnoyarsk, Mira Ave., 90, e-mail: demidenkoeos@mail.rutel.: 8-950-417-2705.

D. A. Koch - Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department, of technology of bakery, confectionery and pasta production FSBEI HE Krasnoyarsk State Agrarian University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 27 февраля 2023; одобрена после рецензирования 18 сентября 2023; принята к публикации 20 ноября 2023.

The article was received by the editorial board on 27 Feb 2023; approved after editing on 18 Sep 2023; accepted for publication on 20 Nov 2023.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК664.681

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.019



РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ ОВСЯНОГО ПЕЧЕНЬЯ ПОВЫШЕННОЙ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ С ПОЛУФАБРИКАТОМ ИЗ ПАСЛЕНА

Вера Геннадьевна Курцева ¹, Марина Николаевна Колесниченко ²

^{1,2} Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

¹ vera5399@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7101-4878>

² mar.kolesnichenko2012@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8843-4705>

Аннотация. Для населения России кондитерские изделия являются неотъемлемой частью рациона питания. Состав продукта и его полезные свойства имеют огромное значение в свете развития здорового питания.

В работе изучена вероятность применения продуктов переработки плодов (ягод) паслена для увеличения ассортиментной линейки мучных кондитерских изделий, повышения пищевой ценности готового продукта, предложена рецептура и технология получения овсяного печенья с применением пюре из спелых ягод паслена.

Ягоды паслена чёрного содержат большое количество ценных веществ, в том числе незаменимых – витамины, минеральные вещества, клетчатка, различные биофлавоноиды.

Использование пюре паслена при разработке рецептур овсяного печенья является актуальной задачей, так как это способствует повышению пищевой ценности изделий. Цель исследования состояла в разработке рецептур овсяного печенья с заменой пшеничной муки высшего сорта на муку пшеничную цельнозерновую, и частичную замену смеси муки (цельнозерновая+овсяная) на пюре из плодов паслена. Данные исследования показали возможность добавления пасленового пюре в овсяное печенье в количестве 20 % взамен смеси муки (цельнозерновая+овсяная), именно при такой дозировке обеспечиваются наилучшие показатели качества полученных образцов.

Рецептуру овсяного печенья с пюре из плодов паслена можно рекомендовать для предприятий, производящих мучные кондитерские изделия.

Ключевые слова: кондитерские изделия, овсяное печенье, пищевая ценность, паслен, пюре из плодов паслена, рецептура, показатели качества.

Для цитирования: Курцева В. Г., Колесниченко, М. Н. Разработка рецептуры овсяного печенья повышенной пищевой ценности с полуфабрикатом из паслена изделий // Ползуновский вестник. 2023. № 4, С. 146–153. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.019. EDN: <https://elibrary.ru/YKRSWU>.

Original article

DEVELOPMENT OF THE OATMEAL COOKIE RECIPE INCREASED NUTRITIONAL VALUE WITH A SEMI-FINISHED PRODUCT MADE OF NIGHTSHADE

Vera G. Kurtseva ¹, Marina N. Kolesnichenko ²

^{1,2} Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

¹ vera5399@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7101-4878>

² mar.kolesnichenko2012@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8843-4705>

© Курцева В. Г., Колесниченко, М. Н., 2023

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ ОВСЯНОГО ПЕЧЕНЬЯ ПОВЫШЕННОЙ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ С ПОЛУФАБРИКАТОМ ИЗ ПАСЛЕНА

Abstract. For the Russian population, confectionery products are an integral part of the diet. The composition of the product and its beneficial properties are of great importance in the light of the development of a healthy diet.

The paper examines the likelihood of using nightshade fruit (berry) processing products to increase the assortment of flour confectionery products, increase the nutritional value of the finished product, and proposes a recipe and technology for producing oatmeal cookies using mashed ripe nightshade berries.

Black nightshade berries contain a large number of valuable substances, including noninterchangeable ones - vitamins, minerals, fiber, various bioflavonoids.

The use of nightshade puree in the development of oatmeal cookie recipes is an urgent task, as it helps to increase the nutritional value of products. The purpose of the study was to develop recipes for oatmeal cookies with the replacement of wheat flour with wholegrain flour, and a partial replacement of the flour mixture (wholegrain+oatmeal) with nightshade puree. These studies have shown the possibility of adding nightshade puree to oatmeal cookies in an amount of 20% instead of a flour mixture (whole grain+oatmeal), it is at this dosage that the best quality indicators of the obtained samples are provided.

The recipe of oatmeal cookies with mashed nightshade fruits can be recommended for enterprises producing flour confectionery products.

Keywords: confectionery, oatmeal cookies, nutritional value, nightshade, nightshade fruit puree, formulation, quality indicators.

For citation: Kurtseva, V. G. & Kolesnichenko, M. N. (2023). Development of the oatmeal cookie recipe increased nutritional value with a semi-finished product made of nightshade // *Polzunovskiy vestnik*, (4), 146-153. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.019. EDN: <https://elibrary.ru/YKRSWU>.

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на рост цен на кондитерские изделия, покупательская способность не убавляется, а, наоборот, замечается небольшой ежегодный рост спроса на кондитерскую продукцию.

Ингредиенты, используемые в производстве кондитерских изделий, как правило, содержат минимум витаминов и минеральных веществ, которые к тому же в процессе выпечки разрушаются. В результате снижается пищевая и витаминная ценность продукта. Таким образом, обогащение современных кондитерских изделий является актуальной задачей. Тем более, что при обогащении кондитерских продуктов растительным сырьем, как правило, снижается их энергоёмкость.

Кондитерским изделиям свойственно высокое содержание сахара и жира, но вместе с этим в них очень часто отсутствуют полезные вещества или они находятся на очень низком уровне, поэтому обогащение мучных кондитерских изделий является очень важным процессом, в результате которого изделия не только становятся более привлекательными и разнообразными внешне, но и, самое главное, в разы полезнее для работы организма человека.

Одним из основных направлений обогащения изделий витаминами и полезными веществами является использование нетрадиционно-

го сырья. Такое сырье способствует повышению питательной ценности изделий. А для увеличения и поддержания спроса на кондитерские изделия кондитерские предприятия постоянно стараются обновлять производство, разрабатывать продукцию новых видов и типов, сильно расширяя свой ассортимент изделий.

Изначально была произведена полная замена муки пшеничной высшего сорта, частично входящей в рецептуру овсяного печенья, на муку из цельного зерна. Мука из цельного зерна, как известно, характеризуется более высоким содержанием пищевых волокон, тиамина, токоферола, минеральных веществ и незаменимых аминокислот, чем мука высшего сорта.

Пищевая ценность и химический состав представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение пищевой ценности и химического состава муки пшеничной высшего сорта и муки пшеничной цельнозерновой

Table 1 – Comparison of nutritional value and chemical composition of premium wheat flour and whole grain wheat flour

Нутриент	Количество	
	Мука высшего сорта	Мука цельнозерновая
1	2	3
Белки, г	9,7	13,2
Жиры, г	1,5	2,5

Продолжение таблицы 1 / Table 1 cont

1	2	3
Углеводы, г	76,2	72,0
Пищевые волокна, г	2,7	10,7
Витамины		
В1, мг	0,2	0,5
В2, мг	0,04	0,165
В5, мг	0,3	0,6
В6, мг	0,17	0,40
РР, мг	3,0	5,0
Е, мг	0,1	0,7
Макроэлементы		
К, мг	149	363
Са, мг	20	34
Mg, мг	25	137
Na, мг	2	2
P, мг	107	357
Микроэлементы		
Fe, мг	1,2	3,6
Cu, мкг	100	410
Zn, мг	0,7	2,6
Se, мкг	6	61,8
Аминокислоты		
Валин, г	0,39	0,56
Изолейцин, г	0,33	0,43
Лейцин, г	0,62	0,90
Лизин, г	0,26	0,36
Метионин, г	0,15	0,23
Треонин, г	0,26	0,37
Триптофан, г	0,11	0,18
Фенилаланин, г	0,39	0,68

Разработка рецептуры овсяного печенья с использованием продуктов переработки ягод паслена с целью повышения его пищевой ценности и придания особенных оттенков цвета и вкуса овсяному печенью является актуальной. Важно обращать внимание на сорт паслена. Сорт «Паслен сладко-горький», например, считается ядовитым, а «Паслен чёрный» или «Санберри» содержат много полезных веществ.

Паслен – очень ценная, но малораспространённая и малоизученная культура. Население Сибири заготавливает из паслена варенье, джемы, повидло, сушит и замораживает ягоды, варит из него кисель и делает начинки для сладкой выпечки. Вкус у продуктов из данного сырья специфический, но польза несоизмерима и мало сравнима с большинством ягод. Но необходимо соблюдать правило, что в питании допустимы только спелые ягоды чёрного цвета.

Также очень важным стоит отметить содержание в ягодах органических кислот, а это является немаловажным биохимическим показателем помимо того, что они придают плодам характерный своеобразный вкус, органические кислоты оказывают содействие

пищеварению и значительно улучшают перистальтику кишечника. Было научно установлено, что в плодах паслена органические кислоты представлены лимонной кислотой (0,64 %), но в них также содержится яблочная (0,13 %), молочная (0,1 %) и янтарная (0,05 %) [7]. Отличает плоды паслена от других плодов и овощных культур то, что, несмотря на высокое содержание органических кислот, при дегустации отсутствует выраженный кислый вкус.

Плоды паслена оказывают гиперлипидемическое действие. Эксперименты показали, что экстракты ягод паслена предотвращают повреждение сосудов у больных диабетом.

Научно доказано, что ягоды паслена предупреждают повреждение органов и тканей при хронической алкогольной интоксикации и, например, спиртовые экстракты всего растения предотвращают повреждение клеток почек, вызванное гентамицином.

Научные исследования подтвердили, что полисахариды, содержащиеся в плодах паслена, обладают иммуномодулирующими и противоопухолевыми характеристиками. Например, экстракты из незрелых плодов и листьев паслена оказывают губительное действие на опухолевые клетки многих органов, подавляя метастатический процесс при различных видах карцином и меланом благодаря наличию стероидных гликоалкалоидов. Противоопухолевое действие паслена черного также приписывают аминокислотам линамарину и гликопротеину.

Научные исследования свидетельствуют, что в плодах паслена содержание белка находится на высоком среди овощей уровне – 2,6 %. В научной литературе представлены результаты биохимических исследований плодов паслена и многократно доказано, что свежие плоды паслена являются ценным сырьем для получения продуктов здорового питания, так как наряду с высоким антиоксидантным действием (229,4 мг/100 г) они содержат высокое содержание пищевых волокон (4,2 г), в составе этой ягоды очень много полезных веществ, таких как витамин Р, рутина, каротина, содержит в себе достаточно важный комплекс микро- и макроэлементов: кальций, магний, марганец. Отдельно стоит отметить содержание витамина С (аскорбиновой кислоты), ее очень много в плодах – 48,2 мг на 100 г. Помимо этих веществ в мякоти паслена содержатся гликоалкалоиды, органические кислоты, дубильные вещества и гликозиды. Высокое содержание антоцианов в сырье (887,1 мг на 100 г), а это, в свою оче-

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ ОВСЯНОГО ПЕЧЕНЬЯ ПОВЫШЕННОЙ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ С ПОЛУФАБРИКАТОМ ИЗ ПАСЛЕНА

редь, положительно влияет на пищевую ценность, а также цвет готовых продуктов и их функциональные свойства. В свежих плодах паслена установлено высокое суммарное количество ароматических веществ (альдегидов, алифатических монокарбоновых кислот), оно составляет 366,73 мг на 100 г [8].

Противопоказания к употреблению паслена: аллергия, хронические заболевания печени и поджелудочной железы, гипотония, диарея, метеоризм; нельзя детям, беременным и кормящим женщинам. Опасность черного паслена (в частности, самих плодов) заключается в его сильном яде – солонине, который практически не оставляет следов после полного созревания плодов.

Пищевая ценность свежих ягод паслена представлена в таблице 2.

По результатам этой таблицы можно сказать, что паслен по содержанию калия превосходит все известные овощные культуры, а по содержанию йода уступает немногим культурам. Также в плодах паслена содержится достаточно большое количество магния (8,0 % от суточной нормы), цинка (7,0 % от суточной нормы) и железа (7,5 % от суточной нормы).

Таблица 2 – Пищевая ценность плодов свежего паслена

Table 2 – Nutritional value of fresh nightshade fruits

Пищевые вещества	Значение
Белки, г	2,6
Жиры, г	0
Углеводы, г	0,2
Пищевые волокна, г	4,2
Органические кислоты, г	0,96
Витамины:	
Аскорбиновая кислота, мг	48,2
Антоцианы (красящие вещества), мг	900
Антиоксидантная активность, мг	229,4
Минеральные вещества, мг:	
K	890
Na	2,9
Ca	27
Fe	1,1
Mg	24
Mn	0,15
Cu	0,01
Zn	0,8
I	0,006
Энергетическая ценность, ккал	14,2

Что касается биологической активности, также было определено содержание в плодах паслена 10 аминокислот, включая незаменимые. Из незаменимых аминокислот, которые

не образуются в организме человека и поэтому должны поступать с пищей, преобладают треонин (5,27 мг/100 г) и валин (1,64 мг/100 г). Аминокислотный состав плодов паслена указан в таблице 3 [8].

Таблица 3 – Аминокислотный состав ягод паслена на 100 г продукта

Table 3 – Amino acid composition of nightshade berries per 100 g of product

Аминокислоты	Содержание, мг
Лейцин	0,71
Валин	1,64
Треонин	5,27
Метионин	0,66
Аланин	0,08
Аргинин	0,70
Тирозин	0,31
Глицин	0,12
Пролин	22,72
Серин	0,08

Целью данного исследования являлась разработка рецептур овсяного печенья с ягодами паслена и изучение влияния пюре из ягод паслена на органолептические, физико-химические показатели качества овсяного печенья, а также на его пищевую ценность.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для изучения возможности использования нетрадиционного пасленового сырья в качестве объекта исследования выбрано овсяное печенье.

Была разработана рецептура овсяного печенья с добавлением пюре из ягод паслена, которое вводили в количестве 20 % от суммарного количества овсяной и цельнозерновой пшеничной муки. Соотношение пшеничной и овсяной муки оставляли прежним (70:30).

За контрольный образец (аналог) было взято печенье «Овсяное» (рецептура № 198 Сборника рецептур), рецептура которого представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Рецептура печенья «Овсяное»

Table 4 – Recipe for "Oatmeal" cookies

Наименование сырья	Массовая доля сухих веществ, %	Расход на 1000 кг готовой продукции, кг	
		В натуре	В сухих веществах
Мука пшеничная высшего сорта	85,50	344,9	294,9
Мука овсяная	85,50	147,8	126,4

Продолжение таблицы 2 / Table 2 cont.

1	2	3	4
Сахар-песок	99,85	372,0	371,4
Масло сливочное	84,00	163,6	137,4
Корица	88,00	0,8	0,7
Ванилин	-	0,5	-
Натрий двууглекислый (сода питьевая)	50,00	5,0	2,4
Соль	96,50	4,0	3,8
ИТОГО	-	1038,6	937
ВЫХОД	90,00	1000,0	900,0

Выпеченные образцы печенья анализировались по ГОСТ 24901-2014 на печенье [3].

Выпеченные образцы анализировали органолептическим методом, оценивая вкус, запах, форму, поверхность, цвет и вид в изломе. Физико-химическими методами проанализировали массовую долю влаги, намокаемость, кислотность, а также ненормируемый по ГОСТ показатель – содержание водорастворимых веществ, который косвенно может служить показателем усвояемости продукта. Расчетным путем проанализировали содержание сахара и жира во всех образцах.

Работа велась на базе кафедры ТХПЗ Института биотехнологии, пищевой и химической инженерии АлтГТУ им. И.И. Ползунова.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основным нетрадиционным сырьем в работе послужили ягоды паслена, произрастающего в Алтайском крае, сорт Паслен черный (обыкновенный).

Если используется свежая ягода паслена, то перед использованием желательно обдать её кипятком с целью избавления от неприятного запаха.

Замороженная ягода была заранее промыта и очищена от примесей, поэтому не нуждалась в промывании. Ягоду ни в коем случае нельзя размораживать в духовке, теплой воде и подобном оборудовании. При медленной разморозке ягода потеряет минимальное количество полезных веществ. Разморозку ягоды лучше всего проводить при температуре от +3 до +5 °С.

Для получения пюре после очищения от всех примесей ягоду измельчали в блендере до однородной пюреобразной консистенции.

Следующим шагом работы стала разработка рецептуры овсяного печенья с добавлением пюре ягод паслена, для этого был проведён перерасчет производственной рецептуры овсяного печенья. Вся пшеничная мука высшего сорта была заменена на цельнозерновую пшеничную муку, а пюре из ягод пас-

лена добавляли в количестве от 5 до 30 % от суммарного количества муки (пшеничной цельнозерновой и овсяной) с интервалом в 5 %.

Для получения печенья была проведена выпечка нескольких образцов с дозировками 5, 10, 15, 20, 25 и 30 % пюре из ягод паслена взамен общего количества муки по рецептуре.

Загрузив всё сырьё в определённой последовательности (растопленное сливочное масло, сахар, ванилин, корицу, пюре из ягод паслена), тщательно перемешивали в течение 10 минут до однородной смеси. Затем вводили овсяную муку и воду (80 % воды по расчету с растворенной в ней солью). Смесь перемешивали в течение 20 минут, после этого вносили оставшуюся воду, цельнозерновую муку и соду и продолжали замес теста ещё в течение 5 минут. Влажность готового теста должна составлять 19 %. Раскатывали тесто толщиной 10 мм, отформовывали печенье соответствующего диаметра и выпекали при температуре 180 °С в течение 15 минут. Готовое печенье охлаждали до комнатной температуры.

Результаты органолептической оценки показали, что увеличение дозировки пюре из ягод паслена «затягивает» поверхность овсяного печенья примерно после 25 %, вместе с этим исчезли характерные трещинки, поверхность становилась более гладкой, что ухудшает внешний вид, нивелируя характерный признак овсяного печенья – трещинки на поверхности. А при 30 % дозировки пюре паслена взамен муки поверхность печенья была полностью гладкой, без трещин.

Цвет печенья с увеличением пюре из ягод паслена становился более интенсивным, тёмным, меняясь от равномерного, светло-соломенного до темно-коричневого. Вкус до 25 %-ной дозировки оставался выраженным, свойственным входящим в рецептуру ингредиентам, а после 30 % стала слабо чувствоваться небольшая своеобразная горечь.

В изломе все образцы печенья имели пропечённую равномерную пористую структуру, без пустот и отсутствием следов непромеса.

На рисунке 1 представлена динамика изменения намокаемости выпеченных образцов печенья.

Намокаемость, как видно, снижается, структура печенья становится менее рыхлой, слоистой и хрупкой и все труднее впитывает воду.

На рисунке 2 проиллюстрировано изменение кислотности, на рисунке 3 – изменение содержания жира, а на рисунке 4 – содержание сахара в выпеченных образцах печенья.

Ягоды паслена, несмотря на содержание органических кислот, не являются обладателями естественных кислотных свойств, поэтому при увеличении дозировки пюре из ягод паслена кис-

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ ОВСЯНОГО ПЕЧЕНЬЯ ПОВЫШЕННОЙ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ С ПОЛУФАБРИКАТОМ ИЗ ПАСЛЕНА

лотность печенья снижалась.



Рисунок 1 – Намокаемость печенья в зависимости от количества добавленного пюре из ягод паслена

Figure 1 – Soakability of cookies depending on the amount of nightshade berry puree added

По приведенным результатам видно, что массовая доля жира и сахара постепенно снижается, это связано с тем, что в ягоде паслена изначально низкое содержание жира и сахаров. Щёлочность и массовая доля золы оставались неизменными во всех образцах.

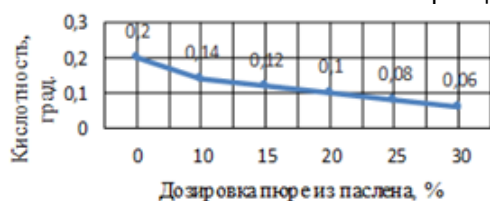


Рисунок 2 – Кислотность печенья в зависимости от количества добавленного пюре из ягод паслена

Figure 2 – The acidity of the cookies depending on the amount of added nightshade berry puree

Таблица 2 – Производственная рецептура овсяного печенья с добавлением ягодного пюре паслена взамен муки

Table 2 – Production recipe for oatmeal cookies with the addition of nightshade berry puree instead of flour

Сырье	Массовая доля сухих веществ, %	Расход сырья, г на 1000 г готовой продукции	
		Печенье овсяное с 20 % пюре ягод паслена взамен муки	
		в натуре	в сухих веществах
Мука пшеничная цельнозерновая	85,50	275,92	235,91
Мука овсяная	85,50	118,24	101,10
Сахар-песок	99,85	372,0	371,40
Масло сливочное	84,00	163,6	137,40
Паслен (ягоды)	13,37	98,54	13,37
Корица	88,00	0,8	0,7
Ванилин	–	0,5	–
Сода питьевая	50,00	5,0	2,4
Соль	96,50	4,0	3,8
ИТОГО	–	1038,6	866,08
ВЫХОД	91,24	1000,0	912,4

Оценив показатели качества всех образцов и проведя дегустационную оценку, можно сделать следующий вывод, что овсяное печенье с добавлением 20 % пюре из ягод паслена взамен суммарного количества овсяной и цельнозерновой пшеничной муки соответствовало требованиям ГОСТ 24901-2014 на печенье [3].

Заключительным этапом исследования являлся расчет пищевой и энергетической



Рисунок 3 – Массовая доля жира в печенье в зависимости от количества добавленного пюре из ягод паслена

Figure 3 – The mass fraction of fat in cookies depending on the amount of added nightshade berry puree



Рисунок 4 – Массовая доля сахара в печенье, в зависимости от количества добавленного пюре из паслена

Figure 4 – The mass fraction of sugar in cookies, depending on the amount of added nightshade puree

Производственная рецептура овсяного печенья с добавлением ягодного пюре паслена взамен общего количества муки приведена в таблице 2.

продуктов питания.

Пищевой ценностью продукта принято называть интегральный показатель полноты полезных свойств продукта, обеспечивающих человека в энергии, а значит в получении с этим продуктом определенного количества белков, жиров, углеводов, витаминов, минеральных веществ, а также сюда входит удовлетворение суточной потребности человека в основных пищевых веществах.

Пищевая ценность овсяного печенья с добавлением ягодного пюре паслена взамен общего количества муки, а также степень удовлетворения суточной потребности в пищевых веществах представлена в таблице 3.

Таким образом, мы видим, что с добавлением пюре из ягод паслена пищевая ценность выпеченного овсяного печенья становится выше, предлагаемый образец более богат необходимыми организму человека макро- и микроэлементами, витаминами, при этом энергоемкость снижается, что позволяет рекомендовать данное печенье для людей-приверженцев здорового питания.

По результатам таблицы можно сделать вывод, что замена муки высшего сорта на цельнозерновую и добавление пюре из пло-

дов паслена положительно повлияло как на пищевую ценность продукта, так и на его химический состав. Изделие удалось обогатить различными витаминами и незаменимыми аминокислотами, в итоге овсяное печенье будет полезнее. Также в изделии в несколько раз увеличилось содержание пищевых волокон, что положительно повлияет на пищеварение, позволит насытиться меньшим объемом изделий из-за своей возможности набухать.

Отдельно стоит отметить сильное преобладание витамина С, что поможет укрепить иммунитет и защитить организм от бактерий и вирусов, а также способствует регулированию обмена веществ.

В изделии сильно выросло содержание калия, который, в свою очередь, регулирует водно-солевой баланс, способствует нормальной работе мышечной ткани, в том числе и сердечной мышцы. Сюда также можно отнести и магний, который служит регулятором клеточного роста, без которого невозможен синтез белковых молекул. Магний расслабляет мышечные волокна (в частности мускулатуру внутренних органов).

Таблица 3 – Пищевая ценность овсяного печенья с добавлением пюре из ягод паслена взамен муки, %

Table 3 – Nutritional value of oatmeal cookies with the addition of nightshade berry puree instead of flour, %

Пищевые вещества	Печенье овсяное (контрольный образец)	Печенье овсяное с 20 % пюре паслена	Суточная потребность человека	Удовлетворение суточной потребности в пищевых веществах, %
Белки, г	5,5	3	80	3,8
Жиры, г	18,1	18,5	80	23,1
Углеводы, г	72,5	73,9	400	18,5
Клетчатка, г	1,82	4,7	25	18,8
Минеральные вещества, мг:				
- натрий	4	4	5000	0,1
- калий	107	275	3750	7,3
-кальций	16	24	900	2,7
-магний	30	71	400	17,8
-фосфор	104	190	1350	14,1
-железо	1	2	15	13,3
-марганец	0,9	2,1	7,5	28,0
-медь	-	0,001	2	0,1
-цинк	-	0,08	12,5	0,6
Витамины, мг:				
- С	-	18	60	30,0
- В1	0,17	0,28	1,75	16,0
- В2	0,05	0,10	2,25	0,4
- РР	0,63	2,00	20	10,0
Энергетическая ценность, ккал	497	475	2750	17,3

* Нормы физиологических потребностей в пищевых веществах и энергии в соответствии с Методическими рекомендациями С МР 2.3.1.0253-21 (в редакции на ноябрь 2023 г.)

В ходе данной работы была разработана рецептура овсяного печенья с добавлением пюре из паслена, которая в результате исследований показала свою целесообразность

из-за повышения полезных свойств печенья и небольшого снижения калорийности. За контрольный образец была взята рецептура печенье "Овсяное" (Рецептура № 198) [2].

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ ОВСЯНОГО ПЕЧЕНЬЯ ПОВЫШЕННОЙ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ С ПОЛУФАБРИКАТОМ ИЗ ПАСЛЕНА

ВЫВОДЫ

1. Внесение ягодного пюре паслена положительно влияет на качество овсяного печенья, обогащая его биологически активными веществами естественного происхождения, которые так необходимы для ежедневной профилактики организма от различных заболеваний и вредного воздействия окружающей среды.

2. Рекомендуется для выпечки овсяного печенья вносить пюре из ягод паслена в количестве 20 % взамен суммарного количества муки пшеничной цельнозерновой и овсяной в неизменном соотношении (70:30) по сравнению с контрольным образцом. Такая дозировка обеспечивает наилучшие показатели качества выпеченных образцов, а при добавлении большего количества пюре только ухудшала вкус и внешний вид.

3. Полученные в данном исследовании данные обладают практической ценностью. Разработанную рецептуру можно рекомендовать для производства в промышленных условиях на кондитерских предприятиях, выпекающих, в частности, печенье повышенной пищевой ценности.

4. Расчет пищевой и энергетической ценности показал, что при употреблении 100 г печенья организм человека получает не только белки, жиры, углеводы, витамины и минеральные вещества, присущие большинству мучных кондитерских изделий, но и значительное количество марганца, меди и цинка, а также клетчатку, необходимую для правильного метаболизма.

5. Использование ягодного пюре паслена в мучных кондитерских изделиях позволит расширить ассортиментную линейку, обеспечив население растительным сырьем, содержащим ценные биологически активные вещества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курцева В.Г., Пашкова И.Е. Исследование влияния растительного сырья на качество мучных кондитерских изделий / Сборник трудов XII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь – 2015». ГОРИЗОНТЫ ОБРАЗОВАНИЯ. ВЫПУСК 17.2015.

2. Сборник технологических нормативов. Сборник рецептур на торты, пирожные, кексы, рулеты, печенье, пряники, коврижки и сдобные булочные изделия. Часть 3. М. : Хлебпродинформ, 2000. 720 с.

3. Печенье. Общие технические условия: ГОСТ 24901-2014. Введ. 2015-01-01. Москва : Стандартинформ, 2016. 13 с.

4. Доронин А.Ф. Функциональные пищевые продукты. Введение в технологии / А.Ф. Доронин, Л.Г. Ипа-

това, А.А. Кочеткова, А.П. Нечаев, О.Г. Шубина, С.А. Хуршудян. М. : ДеЛипринт, 2009. 288 с.

5. МР 2.3.1.0253-21. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 22 июля 2021 г.). М., 2021. 50 с.

6. Химический состав российских пищевых продуктов : Справочник / под ред. член-корр. МАИ, проф. И.М. Скурихина и академика РАМН, проф. В.А. Тутельяна. М. : ДеЛипринт, 2002. 236 с.

7. Акишин Д.В. [и др.]. Функциональная и пищевая ценность свежих и переработанных плодов паслена Санберри / Акишин Д.В., Винницкая В.Ф., Ветров М.Ю., Причко Т.Г., Дрофичева Н.В. // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания, № 2, 2017.

8. Биохимическая характеристика плодов садового паслена / Причко Т.Г., Дрофичева Н.В., Акишин Д.В. [и др.] // Главный агроном. 2019. № 2. С. 17.

9. Свойства паслена черного. Польза и вред паслена: URL : <http://findfood.ru/product/paslen-chernyj> (дата обращения 18.05.2023).

10. Паслен черный: URL : <https://herbana.world/plant/paslyon-chyornyj.html>. (дата обращения 18.10.2023).

11. Пат. 2459415 Российская Федерация. МПК А21D 13/08; Способ приготовления печенья / Рензьева Т.В., Мерман А.Д. ; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. № 2011107819/13; заявл. 28.02.11 ; опубл. 27.08.12, Бюл. № 24.

12. Применение нетрадиционных видов сырья в производстве печенья. URL : <https://research-journal.org/archive/11-113-2021-november/primenenie-netradicionnyh-vidov-syrya-v-proizvodstve-ovsyanogo-pechenya> (дата обращения 18.10.2023).

Информация об авторах

В. Г. Курцева – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии хранения и переработки зерна Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

М. Н. Колесниченко – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии броидильных производств и виноделия Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

Information about the authors

V. G. Kurtseva - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Grain Storage and Processing Technology of the Polzunov Altai State Technical University.

M. N. Kolesnichenko - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Fermentation and Winemaking, Polzunov Altai State Technical University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 27 февраля 2023; одобрена после рецензирования 18 сентября 2023; принята к публикации 20 ноября 2023.

The article was received by the editorial board on 27 Feb 2023; approved after editing on 18 Sep 2023; accepted for publication on 20 Nov 2023.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 641.55/.56

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.020

EDN: XKNB XK

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПИЩЕВОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ СУФЛЕ НА ОСНОВЕ ТЫКВЫ

Марина Александровна Вайтанис ¹, Зоя Рафаиловна Ходырева ²

^{1,2} Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

^{1,2} Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия

¹ gazenauer@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5012-6304>.

² rafailovna-1977@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6459-0271>

Аннотация. Овощные блюда являются основными в каждодневном рационе человека, поскольку могут удовлетворить суточную потребность организма в необходимых питательных веществах. Целью работы является изучение влияния гороховой муки на реологические свойства пищевой системы для суфле на основе тыквы. Объект исследования – пищевая система для суфле из тыквы с добавлением гороховой муки в количестве до 30 %. Предмет исследования – реологические показатели: вязкость, адгезия, удельный объем пищевой системы на основе тыквы с добавлением гороховой муки. Исследовано влияние различных дозировок внесения гороховой муки на реологические свойства пищевой системы для овощного суфле. Добавление гороховой муки в пищевую систему для суфле приводит к увеличению вязкости на 125 м²/с, уменьшению адгезии на 4,3 Па, снижению удельного объема на 7,6 мл/г в сравнении с контрольным образцом, выработанным с внесением пшеничной муки. Полученные результаты реологических свойств пищевой системы из тыквы в сочетании с гороховой мукой необходимо учитывать в технологии приготовления разнообразных видов блюд с пышной консистенцией, таких как суфле, пудинги и запеканки.

Ключевые слова: тыква, гороховая мука, пищевая система, суфле, реологические свойства, вязкость, адгезия, удельный объем.

Для цитирования: Вайтанис М. А., Ходырева З. Р. Исследование реологических свойств пищевой системы для суфле на основе тыквы // Ползуновский вестник. 2023. № 4, С. 154–126. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.020. EDN: <https://elibrary.ru/xknbxbk>.

Original article

INVESTIGATION OF RHEOLOGICAL PROPERTIES OF FOOD SYSTEM FOR PUMPKIN-BASED SOUFFLE

Marina A. Vaytanis ¹, Zoja R. Khodyreva ²

^{1,2} Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

^{1,2} Altai State University, Barnaul, Russia

¹ gazenauer@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5012-6304>.

² rafailovna-1977@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5012-6304>

Abstract. Vegetable dishes are the main ones in the daily human diet, since they can satisfy the daily need of the body for the necessary nutrients. The aim of the work is to study the effect of pea flour on the rheological properties of the food system for pumpkin-based soufflé. The object of research is a food system for pumpkin soufflé with the addition of pea flour in an amount of up to 30%. The subject of the study is rheological indicators: viscosity, adhesion, specific volume of the food system based on pumpkin with the addition of pea flour. The effect of different dosages of pea flour application on the rheological properties of the food system for vegetable soufflé is investigated. The introduction of pea flour into the food system for pumpkin-based soufflé affects the rheological properties of the food system. The addition of pea flour to the

© Вайтанис М. А., Ходырева З. Р., 2023

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПИЩЕВОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ СУФЛЕ НА ОСНОВЕ ТЫКВЫ

food system for soufflé leads to an increase in viscosity by 125 m²/s, a decrease in adhesion by 4.3 Pa, a decrease in specific volume by 7.6 ml/g in comparison with the control sample produced with the introduction of wheat flour. The obtained results of the rheological properties of the pumpkin food system in combination with pea flour should be taken into account in the technology of preparing various types of dishes with a lush consistency, such as soufflés, puddings and casseroles.

Keywords: pumpkin, pea flour, food system, soufflé, rheological properties, viscosity, adhesion, specific volume.

For citation: Vaitanis, M. A. & Khodyreva, Z. R. (2023). Investigation of rheological properties of food system for pumpkin-based soufflé. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 154-126. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.020. EDN: <https://elibrary.ru/XKNBXX>.

ВВЕДЕНИЕ

Блюда из овощей являются важной составляющей ежедневного рациона каждого человека. Они необходимы для сбалансированного питания, являются для организма важнейшим источником витаминов, минералов, органических кислот, пищевых волокон. Без овощей невозможно сбалансированное здоровое питание человека.

Суфле – это не только десерт, а еще и горячее овощное, мясное или творожное блюдо. Для всех видов суфле является обязательным внесение взбитых яичных белков для придания блюду и изделию пышной и нежной консистенции.

В сборниках рецептур блюд и кулинарных изделий для предприятий общественного питания представлены на основе овощного сырья только рецептуры суфле из моркови, поэтому разработка рецептур из тыквы на основе местного сырья является актуальным.

Тыква популярна среди потребителей и производителей пищевой продукции. Так, плоды тыквы, мука из семян тыквы нашли применение в хлебобулочных, кондитерских и макаронных изделиях, пюреобразных супах и мясных продуктах [1–5].

На предприятиях общественного питания г. Барнаула плоды тыквы широко используют для приготовления пюреобразных супов, гарниров, десертов и напитков. Однако суфле из тыквы как самостоятельное горячее блюдо на предприятиях питания не представлено.

Тыква является диетическим и лечебным продуктом. По содержанию полезных веществ тыква превосходит многие другие овощи. В ней содержатся пектиновые вещества, пищевые волокна, каротины, витамины группы В, витамины А, Е, РР, С, железо, калий, кальций, магний, фосфор. Тыква легко усваивается организмом человека, благодаря высокой степени развариваемости и малой волокнистости [6–11]. В ней содержится в 4–5 раз больше β-каротина, чем в моркови.

Суфле, а также пудинги, запеканки на

основе мясного, овощного, фруктового сырья должны иметь пышную, нежную консистенцию, поэтому важно учитывать реологические характеристики при разработке данных блюд.

Поскольку бобовые культуры обладают пенообразующими и эмульгирующими свойствами, было принято решение о внесении данного сырья при разработке суфле на основе тыквы. Бобовые культуры традиционно культивируются и потребляются в Алтайском крае, то есть соответствуют привычкам и традициям населения.

Для составления рецептурных композиций суфле на основе тыквы из бобовых культур была выбрана гороховая мука. Гороховая мука содержит от 20 % до 30 % белковых веществ, отличающихся полноценным аминокислотным составом [6]. Мука богата витаминами группы В, витаминами Н, РР, минеральными веществами: калием, кальцием, кремнием, магнием, фосфором, железом, марганцем, медью, цинком и селеном.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение влияния гороховой муки на реологические свойства пищевой системы для суфле на основе тыквы.

ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

- составить опытные образцы пищевой системы для суфле из тыквы в сочетании с гороховой мукой;

- исследовать влияние гороховой муки на реологические свойства пищевой системы на основе тыквы в сравнении с контрольным образцом (с добавлением пшеничной муки).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В данной работе были использованы следующие объекты:

- тыква продовольственная свежая по качеству, соответствующая требованиям ГОСТ 7975-2013 [12];

- мука гороховая по качеству, соответствующая требованиям ТУ 9293-009-89751414-10 (торговая марка «Образ жизни Алтая»);

- опытные образцы пищевых систем для суфле из тыквы с различным количеством гороховой муки.

Для разработки суфле из тыквы использовали тыкву столовую сорта «Белая дама». Мякоть таких плодов не волокнистая, ярко-оранжевого цвета, что позволяет придать однородную консистенцию и приятный цвет разрабатываемому блюду.

Сырье, используемое для приготовления пищевых систем на основе тыквы в сочетании с гороховой мукой, соответствует требованиям нормативно-технической документации, ТР ТС 021/2011 [13].

Вязкость определяли с помощью вискозиметра ВПЖ-2; удельный объем – объемно-весовым методом; адгезионные свойства – на установке С. Тышкевича [14].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В качестве контрольного образца использовали тыквенное суфле с добавлением пшеничной муки. Гороховую муку вносили в пищевую систему на основе тыквы в количестве от 5 % до 30 %. В процессе работы было исследовано шесть опытных образцов пищевой системы для суфле, без тепловой обработки с разным соотношением тыквы и гороховой муки в сравнении с контролем.

Вязкость пищевой системы оказывает влияние на консистенцию готового блюда. По данному показателю получены следующие результаты (рис. 1).

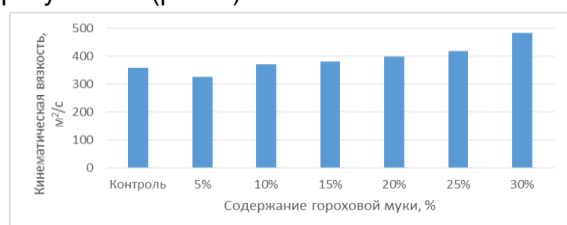


Рисунок 1 – Зависимость вязкости исследуемых образцов суфле от количества внесения гороховой муки

Figure 1 – Dependence of the viscosity of the studied soufflé samples on the amount of pea flour application

При увеличении количества вносимой гороховой муки вязкость возрастает на 125 м²/с в сравнении с контрольным образцом (рисунок 1). Это связано с активным набуханием белков гороха, содержание которых в два раза больше, чем в пшеничной муке. Вязкость у образца № 1 (326 м²/с) ниже, чем у контрольного образца – 360 м²/с, что объясняется незначительным количеством вносимой гороховой муки. Высокие значения

данного показателя отмечаются у образцов с внесением от 10 % до 30 % гороховой муки в сравнении с контрольным образцом.

Снижение адгезионной способности блюд и изделий является важной задачей, стоящей перед технологами, поскольку позволяет в процессе запекания суфле уменьшить потери сырья.

На рисунке 2 представлена зависимость адгезионных свойств исследуемых образцов от количества внесения гороховой муки.

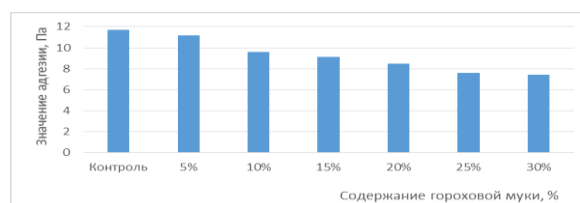


Рисунок 2 – Зависимость адгезии исследуемых образцов суфле от количества внесения гороховой муки

Figure 2 – Dependence of the adhesion of the studied soufflé samples on the amount of pea flour application

Из графика 2 видно, что при увеличении количества гороховой муки адгезия уменьшается на 4,3 Па в сравнении с контрольным образцом. Значение адгезии у образца № 1 (11,2 Па) незначительно уступает контрольному образцу – 11,7 Па. Наилучшие адгезионные свойства, по сравнению с контролем, показали образцы с содержанием гороховой муки в количестве 25 % и 30 %.

Таким образом, адгезионная способность пищевой системы на основе тыквы при внесении гороховой муки снижается. Это свидетельствует о том, что при приготовлении по данным рецептурам суфле будут лучше извлекаться из формы для запекания и не приведет к потере сырья.

На рисунке 3 представлена зависимость удельного объема, занимаемого пищевой системой от количества внесения гороховой муки.

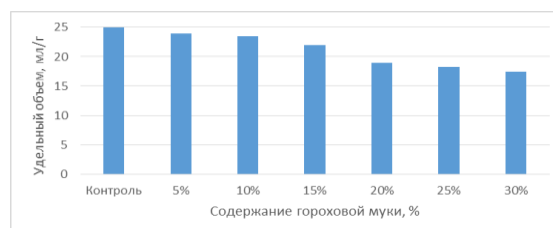


Рисунок 3 – Влияние количества вносимой гороховой муки на удельный объем исследуемых образцов

Figure 3 – The effect of the amount of pea flour introduced on the specific volume of the studied samples

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПИЩЕВОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ СУФЛЕ НА ОСНОВЕ ТЫКВЫ

Внесение гороховой муки в пищевую систему из тыквы приводит к снижению удельного объема на 7,6 мл/г (30 % гороховой муки) в сравнении с контрольным образцом – 25 мл/г.

Из полученных данных можно сделать вывод, что внесение гороховой муки способствует снижению удельного объема, занимаемого пищевой системой в сравнении с контрольным образцом. Это свидетельствует о том, что большое количество муки в пищевой системе для суфле подавляет вспененность вводимых яичных белков, в результате этого готовое изделие теряет свойственную ему воздушность.

ВЫВОДЫ

Разработаны рецептурные композиции пищевой системы для суфле на основе тыквы в сочетании с гороховой мукой и проведены исследования реологических свойств в сравнении с контрольным образцом (с добавлением пшеничной муки).

Внесение гороховой муки в пищевую систему для суфле приводит к увеличению вязкости на 125 м²/с, уменьшению адгезионных свойств – на 4,3 Па, снижению удельного объема – на 7,6 мл/г в сравнении с контрольным образцом, разработанным с добавлением пшеничной муки. Полученные результаты реологических свойств пищевой системы на основе тыквы с гороховой мукой необходимо учитывать в технологии приготовления суфле.

Таким образом, предложенные рецептурные композиции пищевой системы из тыквы в сочетании с гороховой мукой можно использовать для приготовления разнообразных видов блюд с пышной консистенцией, таких как суфле, пудинги и запеканки, с высокими потребительскими характеристиками и рекомендовать их при безглютеновой диете.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Типсина Н.Н., Селезнева Г.К. Использование пюре из тыквы в пищевой промышленности // Вестник КрасГАУ. 2013. № 12. С. 14.
2. Табаторович А.Н., Степанова Е.Н. Разработка и оценка качества тыквенного мармелада, обогащенного аскорбиновой. Техника и технология пищевых производств. 2012. № 4 (27). С. 57–64.
3. Лодыгин А.Д., Давыденко Н.И. Разработка технологии мучного кондитерского изделия с использованием плодов. Пищевая индустрия. 2019. № 2. С. 30–32. DOI : 10.24411/9999-008A-2019-10009.
4. Вайтанис М.А., Ходырева З.Р. Влияние растительного сырья на качество овощных пюреобразных супов // V Международная научная конференция «Пищевые инновации и биотехнологии. 2017. КемТИПП. С. 281–282.
5. De Escalada Pla M.F., Ponce N.M., Sports C.A. [et al.]. Composition and functional properties of enriched fiber products obtained from

pumpkin (*Cucurbita moschata* Duchesne ex Poiret) // LWT – Food Science and Technology. 2007. V. 40, № 7. P. 1176–1185.

6. Скурихин И.М., Тутельян В.А. Химический состав российских продуктов питания : Справочник. М. : ДеЛипринт, 2002. 236 с.

7. Lindsey J.B. The composition, digestibility and feeding value of pumpkins. Amherst, Mass. Massachusetts: Bulletin. 2004. 174 pp.

8. Chemical composition and biological activity of ripe pumpkin fruits (*Cucurbita pepo* L.) cultivated in Egyptian habitats / S.E. Badr, Y.M. Elkholy, M.H. Hella, A.S. Hamza, M.S. Masoud, M.M. El Safty // Regional Center for Food and Feed (RCFF). 2011. № 25. P. 1524–1539.47.

9. Nutritional Composition of the Pumpkin (*Cucurbita* spp.) / J.K. Karanja, B.J. Mugendi, F.M. Khamis, A.N. Muchugi // LWT Food Sci. Technol. 2013. № 4. P. 17–22.

10. Biochemical composition and processability of pumpkin cultivars / H. Danilchenko, A. Paulauskiene, R. Dris, R. Niskanen // Maale Ha Hamisha, Israel. 2009. 497 p.

11. Carotenoid content in different locality of pumpkin (*cucurbita moschata*) in Malaysia / S. Nors-hazila, J. Irwandi, R. Othman, H.H. Yumi zuhanis // International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences. 2014. 32 p.

12. ГОСТ 7975-2013. Тыква продовольственная свежая Технические условия. Введ. 2015.01.01. Москва : Стандартинформ, 2013. 6 с.

13. О безопасности пищевой продукции: технический регламент таможенного союза № 021/2011: [принят решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 года № 880]. Москва : Изд-во стандартов, 2011. 242 с.

14. Методы исследования мяса и мясных продуктов / Л.В. Антипова, И.А. Глотова, И.А. Рогов. М. : Колос, 2001. 376 с.

Информация об авторах

М. А. Вайтанис – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии продуктов питания» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова; доцент кафедры «Рекреационной географии, сервиса, туризма и гостеприимства» Алтайского государственного университета.

З. Р. Ходырева – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии продуктов питания» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова; доцент кафедры «Рекреационной географии, сервиса, туризма и гостеприимства» Алтайского государственного университета.

REFERENCES

1. Tipsina, N.N. & Selezneva, G.K. (2013). The use of pumpkin puree in the food industry. Bulletin of KrasGAU. No. 12. P. 14. (In Russ.).

2. Tabatorovich, A.N. & Stepanova, E.N. (2012). Development and evaluation of the quality of pumpkin marmalade enriched with ascorbic acid. Equipment and technology of food production. No. 4 (27). 57-64. (In Russ.).
3. Lodygin, A.D. & Davydenko, N.I. (2019). Development of technology of flour confectionery with the use of pumpkin fruits. Dygin. Food industry. No. 2. 30-32. DOI : 10.24411/9999-008A-2019-10009. (In Russ.).
4. Vaytanis, M.A. & Khodyreva, Z.R. (2017). The influence of vegetable raw materials on the quality of vegetable pureed soups. V International Scientific Conference "Food innovations and Biotechnologies. KemTIPP. 281-282. (In Russ.).
5. De Escalada Pla, M.F., Ponce, N.M. & Sports, C.A. [et al.]. (2007). Composition and functional properties of enriched fiber products obtained from pumpkin (*Cucurbita moschata* Duchesne ex Poirer). LWT - Food Science and Technology. V. 40, No. 7. 1176-1185.
6. Skurihin, I.M. & Tutel'yan, V.A. (2002). Chemical composition of Russian food products: Handbook. Moscow : DeLiprint. (In Russ.).
7. Lindsey, J.B. (2004). The composition, digestibility and feeding value of pumpkins. Amherst, Mass. Massachusetts: Bulletin. 174 p.
8. Badr, S.E., Elkholy, Y.M. & Helal, M.H. [et al.]. (2011). Chemical composition and biological activity of ripe pumpkin fruits (*Cucurbita pepo* L.) cultivated in Egyptian habitats. Regional Center for Food and Feed (RCFF). No. 25. 1524-1539.47.
9. Karanja, J.K., Mugendi, B.J. & Khamis, F.M. [et al.]. (2013). Nutritional Composition of the Pumpkin (*Cucurbita* spp.). LWT Food Sci. Technol. No. 4. 17-22.
10. Danilchenko, H., Dris, R. & Niskanen, R. (2009). Biochemical composition and processability of pumpkin cultivars. Maale Ha Hamisha, Israel. 497 p.
11. Norshazila, S., Irwandi, J. & Othman R. [et al.]. (2014). Carotenoid content in different locality of pumpkin (*cucurbita moschata*) in Malaysia. International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences. 32 p.
12. Pumpkin food fresh Technical conditions. Introduction. (2015). GOST 7975-2013 from 01 January 2015. Moscow : Standartinform. (In Russ.).
13. Technical regulations of the Customs Union. About food safety. (2011). TRTS No.021/2011 from December 9, 2011. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).
14. Antipova, L.V., Glotova, I.A. & Rogov, I.A. (2001). Methods of research of meat and meat products. Moscow : Kolos. 376 p. (In Russ.).

Information about the authors

M. A. Vaytanis - Candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department "Technology of food products" Polzunov Altai State Technical University; associate Professor of the Department "Recreational geography, service, tourism and hospitality" of the Altai state University.

Z. R. Khodyreva - Candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department "Technology of food products" Polzunov Altai State Technical University; associate Professor of the Department "Recreational geography, service, tourism and hospitality" of the Altai state University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 28 февраля 2023; одобрена после рецензирования 18 сентября 2023; принята к публикации 20 ноября 2023.

The article was received by the editorial board on 28 Feb 2023; approved after editing on 18 Sep 2023; accepted for publication on 20 Nov 2023.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 53.082.22:[635.7+663.1]
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.021

 EDN: XCAJZD

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОБРАБОТКИ ВЫСОКИМ ГИДРОСТАТИЧЕСКИМ ДАВЛЕНИЕМ НА МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОЛУФАБРИКАТА ИЗ ПРЯНЫХ ТРАВ

Светлана Игоревна Охременко ¹, Сергей Анатольевич Соколов ²,
Александр Анатольевич Яшонков ³

¹ Донбасская юридическая академия, Донецк, Россия

^{2,3} Керченский государственный морской технологический университет, Керчь, Россия

¹ sveta_okhremenko@mail.ru

² sokoloff1906@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4971-3015>

³ jashonkov@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1431-679X>

Аннотация. Традиционные технологии обработки пряной зелени (сушка, стерилизация и консервирование солью), целью которых является увеличение сроков хранения продукта за счет уничтожения патогенной микрофлоры и микробных токсинов, имеют наряду с преимуществами и ряд недостатков. При любом абиотическом способе консервирования пряной зелени изменения претерпевают, прежде всего, витамины и биологически активные вещества и, как следствие, снижение пищевой ценности продукта в целом. Предложена инновационная технология производства полуфабриката из пряных трав с использованием обработки высоким гидростатическим давлением в диапазоне от 200 до 500 МПа при температурах от 10 до 40 °С при экспозиции давления 4, 8 и 12-60¹с. Получаемый таким образом продукт представляет собой пасту из смеси петрушки и укропа, не содержащую консервантов и с высокими значениями сроков хранения. Разработанная технология позволяет минимизировать потери витаминов и ценных питательных веществ и снизить объемы естественной убыли сырья в процессе хранения. Проведенные сравнительные микробиологические исследования показали реальную возможность продлить сроки хранения полуфабриката из пряных трав до 10 месяцев при соблюдении температурного режима от 0 °С до 25 °С и относительной влажности 75 %.

Ключевые слова: пряные травы, полуфабрикат, высокое давление, микробиологические показатели, срок хранения.

Для цитирования: Охременко С. И., Соколов С. А., Яшонков А. А. Экспериментальная оценка влияния обработки высоким гидростатическим давлением на микробиологические показатели полуфабриката из пряных трав // Ползуновский вестник. 2023. № 4, С. 159–165. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.021. EDN: <https://elibrary.ru/XCAJZD>.

Original article

EXPERIMENTAL EVALUATION OF EFFECT OF HIGH HYDROSTATIC PRESSURE TREATMENT ON MICROBIOLOGICAL PARAMETERS OF A SEMI-FINISHED PRODUCT FROM HERBS

Svetlana I. Ohrimenko ¹, Sergey A. Sokolov ², Aleksander A. Yashonkov ³

¹ Donbass Law Academy, Donetsk, Russia

^{2,3} Kerch State Maritime Technological University, Kerch, Russia

¹ sveta_okhremenko@mail.ru

² sokoloff1906@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4971-3015>

³ jashonkov@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1431-679X>

© Охременко С. И., Соколов С. А., Яшонков А. А., 2023

Abstract. *Traditional technologies for processing spicy greens (drying, sterilization and preservation with salt), the purpose of which is to increase the shelf life of the product by destroying pathogenic microflora and microbial toxins, have, along with advantages, a number of disadvantages. With any abiotic method of preserving spicy greens, changes occur, first of all, vitamins and biologically active substances and, as a result, a decrease in the nutritional value of the product as a whole. An innovative technology for the production of a polufabrikat from spicy herbs using high hydrostatic pressure treatment in the range from 200 to 500 MPa at temperatures from 10 to 40 °C with a pressure exposure of 4, 8 and 12 · 60¹c. The product obtained in this way is a paste made from a mixture of parsley and dill, which does not contain preservatives and with high shelf life values, the developed technology allows minimizing the loss of vitamins and valuable nutrients and reducing the volume of natural loss of raw materials during storage. Comparative microbiological studies have shown a real possibility to extend the shelf life of a semi-finished product from herbs up to 10 months, subject to a temperature regime from 0°C to 25°C and a relative humidity of 75%.*

Keywords: *spicy herbs, semi-finished product, high pressure, microbiological indicators, shelf life.*

For citation: Ohremenko, S. I., Sokolov, S. A., Yashonkov, A. A. (2023). Experimental evaluation of effect of high hydrostatic pressure treatment on microbiological parameters of a semi-finished product from herbs. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 159-165. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.021. EDN: <https://elibrary.ru/XCAJZD>.

ВВЕДЕНИЕ

Пряно-ароматические растения известны людям с древних времен, о чем свидетельствует история их открытия, употребления и распространения. На заре XX в. автор книги «Кулинарные травы» Каинс (Морис Гренвиль) писал: «...Травы – это кулинарные волшебники, которые превращают дешевые нарезки и обрезки в аппетитные лакомства» [1].

Изучение биологической ценности и полезности пряных трав, совершенствование кулинарного искусства, создание новых пищевых продуктов значительно повысили их роль в питании человека. Пряные растения не только обогащают пищу ценными биологически активными веществами, но и облагораживают продукт, придавая вкусовую и ароматическую гармонию готовому блюду. Воздействуя на вкусовые рецепторы, пряные травы положительно влияют на пищеварительную систему, усиливают аппетит, улучшают обмен веществ.

В качестве пряностей могут выступать различные части растений: корни, корневища, клубни, луковицы, молодые листья, соцветия, бутоны, рыльца цветов, зеленое перо.

Одними из широко известных и массово употребляемых овощных растений являются укроп и петрушка. Эти растения неприхотливы в выращивании и адаптированы практически к большинству климатических условий. Петрушка и укроп относятся к пряным овощным растениям, которые употребляются в свежем и сушеном виде, у петрушки – листья и корнеплоды, у укропа – листья и стебли [2]. Петрушку и укроп используют для приготовления гарниров, салатов, супов, приправ, а также в консервной и овощесушильной промышленности. Настои из листьев, стеблей,

корнеплодов и семян этих овощей, а также выделенные из них эфирные масла используются в медицине, кондитерской и парфюмерной промышленности [3, 4]. Среди зеленых культур петрушка и укроп по праву считаются одними из наиболее полезных растений, пищевая ценность которых обусловлена высоким содержанием биологически активных веществ: витаминов различных групп и провитаминов (витамина С, каротина, тиамина, рибофлавина, фолатина и др.), специфических эфирных масел, минеральных солей, белков, ферментов, сахаров, пектиновых веществ, клетчатки, фитонцидов [5]. По данным официальной статистики, снабжение потребителей этими культурами в течение года осуществляется неравномерно: большая часть – 85 % – потребляется в пищу в июне–октябре и только 15% приходится на остальное время года [6]. Низкие объемы потребления в осенне-зимний период связаны, в первую очередь, с тем, что свежая зелень петрушки и укропа является скоропортящимся продуктом, который при традиционном способе упаковки и хранения может сохраняться не более 30 суток. Среднегодовое потребление свежей зелени укропа и петрушки составляет около 55 %, на долю производства приходится 35 % сбора урожая, а остальные 10 % пряной зелени укропа и петрушки из-за короткого срока хранения подвергается порче. Традиционные технологии обработки пряной зелени (сушка, стерилизация и консервирование солью), целью которых является увеличение сроков хранения продукта за счет уничтожения патогенной микрофлоры и микробных токсинов, имеют наряду с преимуществами и ряд недостатков. При любом абиотическом способе консервиро-

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОБРАБОТКИ ВЫСОКИМ ГИДРОСТАТИЧЕСКИМ ДАВЛЕНИЕМ НА МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОЛУФАБРИКАТА ИЗ ПРЯНЫХ ТРАВ

вания пряной зелени изменения претерпевают, прежде всего, витамины и биологически активные вещества и, как следствие, снижение пищевой ценности продукта в целом [7].

Поэтому среди приоритетных задач, стоящих перед производителями, можно выделить разработку инновационной технологии переработки зелени, что позволит не только получить продукт с высокими потребительскими свойствами, но и снизить объемы естественной убыли сырья в процессе хранения. Среди инновационных направлений современности большое внимание со стороны как зарубежных, так и отечественных исследователей и практиков уделяется применению технологии высокого давления (ВД). Данная технология уже широко используется во многих отраслях пищевой промышленности и позволяет получить продукты качественно нового уровня без использования консервантов, минимизируя потери витаминов и ценных питательных веществ с улучшенными вкусо-ароматическими свойствами [8, 9].

Пряная зелень, которая перерабатывается промышленностью, в основном идет на приготовления специй и приправ, например, в французской кухне широко используется соус равиго, представляющий собой соединённый экстракт или пюре из свежих душистых трав: эстрагона, кресс-салата, петрушки, кервеля, укропа и пр. Существует множество рецептов этого соуса, но практически во всех его рецептурах, особенно в отечественных предприятиях питания, обязательно используются петрушка и укроп. Согласно технико-технологической карте [10], этот соус реализуется непосредственно после приготовления. При этом технологической картой определены допустимые сроки хранения соуса, которые при температуре +4 °С (± 2 °С), составляют 48 часов. Той же технологической картой регламентируются микробиологические показатели качества блюда, которые должны соответствовать требованиям Технического регламента Таможенного союза "О безопасности пищевой продукции" ТР ТС 021/2011 или гигиеническим нормативам, установленным в соответствии с нормативными правовыми актами или нормативными документами, действующими на территории государства, принявшего стандарт.

На сегодняшний день на рынке отсутствует продукт, который по своим свойствам был бы максимально приближен к свежей зелени. Проведенный нами ранее анализ литературных источников показывает, что применение традиционных способов обработки

пряных трав имеет ряд ограничений и недостатков [6]. Поэтому поиск и разработка новых перспективных методов сохранения пряной зелени является актуальными.

Таким образом, целью наших исследований была разработка пастообразного полуфабриката из пряных трав, который имеет способность к длительному хранению и может применяться в качестве приправы к разным блюдам, в том числе при производстве различных соусов. Также была проведена экспериментальная оценка влияния обработки высоким давлением на микробиологические показатели полученного полуфабриката и сроки его хранения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При проведении экспериментальных исследований были использованы стандартные микробиологические методы с применением современных измерительных устройств и приборов. Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ, КОЕ/см³) определяли по ГОСТ 10444.15-94 «Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов». Бактерии группы кишечной палочки (БГКП) определяли путем посева полуфабриката из пряных трав на среду Кесслер по ГОСТ 50474-93. Наличие в полуфабрикате плесневых грибов определяли по ГОСТ 10444.12-88 «Продукты пищевые. Методы определения дрожжей и плесневых грибов».

Для проведения исследований использовали петрушку сорта «Сахарная» и укроп сорта «Армянский». В качестве вспомогательных контрольных образцов на этапе проведения сравнительной оценки полуфабриката из пряных трав, обработанного ВД, нами были взяты дополнительные образцы: К₂ – паста из пряных трав стерилизованная, К₃ – смесь зелени укропа и петрушки, консервированная солью, К₄ – смесь зелени сушеной.

Для приготовления 100 г полуфабриката использовалось 50 г укропа и 50 г петрушки. Технологическая схема производства полуфабриката из пряных трав, обработанного высоким давлением, приведена на рисунке 1.

Качество свежей зелени определяли на основе контроля объединенной пробы. Согласно санитарно-бактериологическим показателям, свежая зелень имела высокую степень обсемененности, однако входила в верхний предел допустимых норм. Число мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов в исследованных образцах свежей зелени колебалось от $2,94 \cdot 10^2$ до $1 \cdot 10^3$ КОЕ/см³.

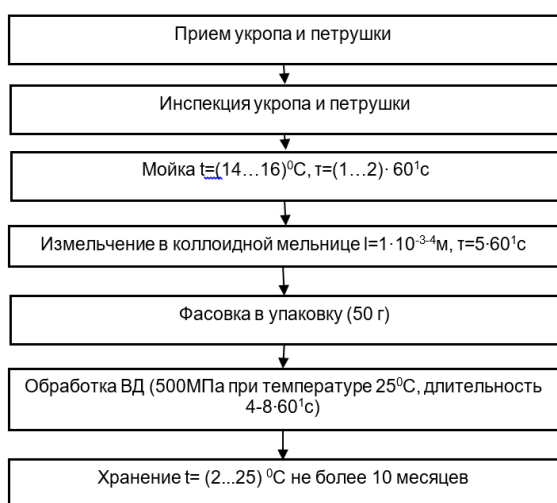


Рисунок 1 – Технологическая схема полуфабриката из пряных трав, обработанного высоким давлением
Figure 1 – Technological scheme of a semi-factory made of spicy herbs treated with high pressure

Экспериментальные исследования по определению ВД на микробиологические показатели полуфабриката из пряных трав проводились на автоматизированной установке высокого давления (АУВД) [11]. Установка допускает обработку образцов давлением до 1000 МПа при температуре от -25°C до $+90^{\circ}\text{C}$. АУВД позволяет: регистрировать необходимые параметры объекта перед созданием давления; создавать давление и температуру с выдержкой объекта в рабочей камере (РК) от нескольких минут до суток с непрерывным документированием на персональном компьютере давления и температуры; уменьшать давление, разгружать камеру, изучать изменения в объектах, подвергавшихся заданным давлению и температуре. Документирование и непрерывная регистрация производится с помощью персонального компьютера.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Подробное изучение механизма инактивации микрофлоры продуктов растительного происхождения при различных режимах обработки ВД в сочетании с температурой и разной экспозицией заключается в основе формирования рациональных режимов технологического процесса.

Согласно данным [12], при параметрах давления от 200 до 600 МПа микробная обсемененность уменьшается на 1,5 порядка, причем дрожжевые плесневые типы микроорганизмов при таком давлении полностью инактивируются. Использование давления 600 МПа по силе действия на бактерии можно сравнить с процессом термической обработки пищевых продуктов. Следует отметить, что

при выборе температурного режима акцент был сделан на давление как на основной угнетающий фактор, действующий на микрофлору полуфабриката из пряных трав.

Температура обработки была выбрана в первую очередь с учетом максимального сохранения пищевой ценности полуфабриката из пряных трав, в частности минерального и витаминного баланса. Так, при низкой температуре замедляются процессы жизнедеятельности многих микроорганизмов и прекращается активность ферментов, при этом пищевая ценность и нативные свойства полуфабриката из пряных трав практически не претерпевают изменений. Температура 25°C и 40°C является наиболее оптимальной для развития большинства микроорганизмов, присутствующих в полуфабрикate, но в условиях нормального атмосферного давления. Повышение давления при таких температурах способствует нарушению структуры микробной клетки, что может вызвать снижение ее активности или полную инактивацию микрофлоры. При температуре свыше 40°C происходит разрушение некоторых витаминов и соответственно снижается пищевая ценность продукта, что свидетельствует о нецелесообразности использования более высоких температур. Длительность обработки 4, 8 и $12\cdot 60'$ была выбрана с учетом повышения инактивирующего эффекта воздействия высокого давления на патогенную микрофлору полуфабриката из пряных трав.

С целью определения влияния высокого давления на потенциально присутствующую микрофлору, в лабораторных условиях необработанный свежий полуфабрикат из пряных трав был проверен по показателям КМАФАнМ, БГКП и плесневых грибов. В результате анализа был установлен высокий показатель КМАФАнМ, КОЕ в 1 см^3 (более $5\cdot 10^4$) и наличие плесневых грибов. Бактерии группы кишечной палочки отсутствовали.

Результаты анализа микрофлоры полуфабриката из пряных трав, обработанного указанными режимами, представлены в таблице 1.

Учитывая высокую обсемененность свежего полуфабриката из пряных трав, следует отметить эффективное снижение микрофлоры во всех случаях применения указанных режимов давления. Из представленных данных становится очевидной зависимость интенсивности инактивации микрофлоры давлением при различных температурных режимах и длительности воздействия. Причем температурный и временной факторы играют важную роль в достижении бактериальной чистоты продукта. Эффективность инактивации микрофлоры высоким давлением при

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОБРАБОТКИ ВЫСОКИМ ГИДРОСТАТИЧЕСКИМ ДАВЛЕНИЕМ НА МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОЛУФАБРИКАТА ИЗ ПРЯНЫХ ТРАВ

длительности воздействия 4·60¹с, 8·60¹с и 12·60¹с представлена на рисунках 2–4.

Воздействие на полуфабрикат из пряных трав давлением 200, 350 и 500 МПа при температуре 100 °С в течение 4·60¹с, 8·60¹с и

12·60¹с способствует снижению общего микробного числа на 99,9 %. Однако при такой температуре в полуфабрикате из пряных трав обнаружены плесневые грибы в 0,1 см³.

Таблица 1 – Микробиологические показатели полуфабриката из пряных трав, обработанного высоким давлением
Table 1 – Microbiological indicators of a semi-finished product of spicy herbs treated with high pressure

Режимы обработки (давление – температура – экспозиция)	Санитарно-бактериологические показатели		
	КМАФАнМ, КОЕ/см ³	БГКП в 0,1 см ³	Плесневые грибы в 0,1 см ³
Контроль	более 5·10 ⁴	не обн.	обн.
200МПа-10 °С-4·60 ¹ с	более 2·10 ⁴	не обн.	обн.
200МПа-10 °С-8·60 ¹ с	более 2·10 ⁴	не обн.	обн.
200МПа-10 °С-12·60 ¹ с	более 2·10 ⁴	не обн.	обн.
350МПа-10 °С-4·60 ¹ с	более 6·10 ³	не обн.	обн.
350МПа-10 °С-8·60 ¹ с	более 6·10 ³	не обн.	обн.
350МПа-10 °С-12·60 ¹ с	более 6·10 ³	не обн.	обн.
500МПа-10 °С-4·60 ¹ с	8·10 ¹	не обн.	не обн.
500МПа-10 °С-8·60 ¹ с	3,2·10 ¹	не обн.	не обн.
500МПа-10 °С-12·60 ¹ с	1·10 ¹	не обн.	не обн.
200МПа-25 °С-4·60 ¹ с	более 3·10 ³	не обн.	обн.
200МПа-25 °С-8·60 ¹ с	более 3·10 ³	не обн.	обн.
200МПа-25 °С-12·60 ¹ с	более 2·10 ³	не обн.	обн.
350МПа-25 °С-4·60 ¹ с	1·10 ³	не обн.	обн.
350МПа-25 °С-8·60 ¹ с	2,3·10 ²	не обн.	обн.
350МПа-25 °С-12·60 ¹ с	1,6·10 ¹	не обн.	обн.
500МПа-25 °С-4·60 ¹ с	роста нет	не обн.	не обн.
500МПа-25 °С-8·60 ¹ с	роста нет	не обн.	не обн.
500МПа-25 °С-12·60 ¹ с	роста нет	не обн.	не обн.
200МПа-40 °С-4·60 ¹ с	6·10 ¹	не обн.	не обн.
200МПа-40 °С-8·60 ¹ с	2·10 ¹	не обн.	не обн.
200МПа-40 °С-12·60 ¹ с	1·10 ¹	не обн.	не обн.
350МПа-40 °С-4·60 ¹ с	роста нет	не обн.	не обн.
350МПа-40 °С-8·60 ¹ с	роста нет	не обн.	не обн.
350МПа-40 °С-12·60 ¹ с	роста нет	не обн.	не обн.
500МПа-40 °С-4·60 ¹ с	роста нет	не обн.	не обн.
500МПа-40 °С-8·60 ¹ с	роста нет	не обн.	не обн.
500МПа-40 °С-12·60 ¹ с	роста нет	не обн.	не обн.

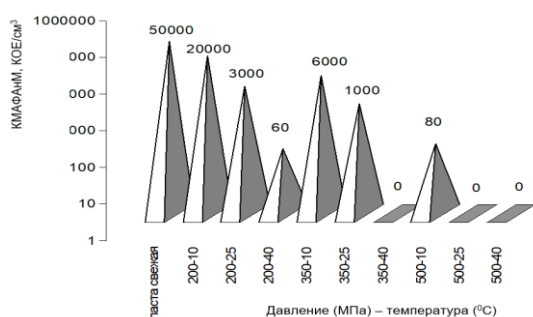


Рисунок 2 – Изменения показателя КМАФАнМ в полуфабрикате из пряных трав, обработанном различными режимами обработки (длительность обработки – 4·60¹с)

Figure 2 – Changes in the indicator TVC (total viable count (total mesophilic anaerobic and facultative anaerobic microorganisms)) in the semi-finished product of herbs treated with various processing modes (processing duration – 4·60¹с)

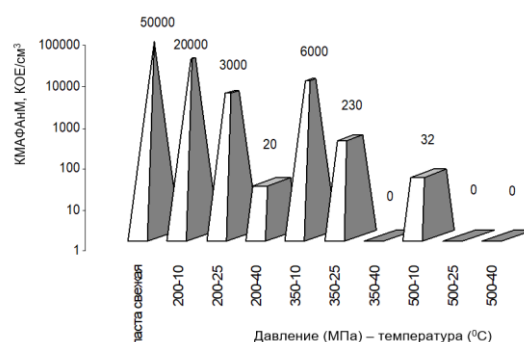


Рисунок 3 – Изменения показателя КМАФАнМ в пасте из пряных трав, обработанной различными режимами обработки (длительность обработки – 8·60¹с)

Figure 3 – Changes in the indicator TVC in the semi-finished product of herbs treated with various processing modes (processing duration – 8·60¹с)

Обработка высоким давлением 500 и 600 МПа при 25 °С приводит к полной инактивации микроорганизмов и плесневых грибов.

Эффективная инактивация микрофлоры полуфабриката из пряных трав была достигнута в условиях высокого давления при температуре 40 °С. Уже при давлении 200 МПа в течение 4·60¹с показатель общего микробного обсеменения снизился до 60 КОЕ в 1 см³. С повышением давления от 350 до 600 МПа при указанной температуре независимо от длительности обработки (4·60¹с, 8·60¹с и 12·60¹с) достигается полная инактивация микроорганизмов, что сравнимо с эффектом стерилизации.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что наибольший эффект в результате обработки полуфабриката из пряных трав высоким давлением достигается при давлении 500 и 600 МПа и температуре 25 °С и 40 °С.

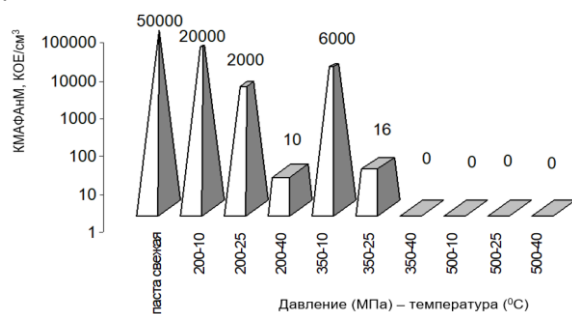


Рисунок 4 – Изменения показателя КМАФАМ в пасте из пряных трав, обработанной различными режимами обработки (длительность обработки – 12·60¹с)

Figure 4 – Changes in the indicator TVC in the semi-finished product of herbs treated with various processing modes (processing duration – 12·60¹с)

После проведения микробиологических исследований сразу после обработки нами был проведен цикл экспериментальных наблюдений за изменением микробиологических показателей в результате длительного хранения, обработанного ВД полуфабриката. При хранении различных продуктов питания наибольшим изменениям могут поддаваться микробиологические показатели. Микробиологические процессы происходят под влиянием микроорганизмов, которые снижают пищевую ценность продуктов, часто делают их непригодными к употреблению. Стойкость полуфабриката при хранении зависит не только от его состава, но и от упаковки, в которой хранится продукт. Согласно ГОСТ 3343-89, пастообразные полуфабрикаты и продукты могут храниться в стеклянных банках до 3 лет, в металлических банках, бочках, в упаковках «Дай Пак» – 1 год, в алюминиевых тубах – 6 месяцев, в таре из полимерных материалов – до 10 суток. Разработанный

полуфабрикат из пряных трав, подвергнутый обработке ВД, упаковывался в термоусадочные пакеты «Дай Пак», поэтому были исследованы изменения микробиологических показателей в процессе хранения 12 месяцев. Результаты приведены на рисунках 5 и 6.

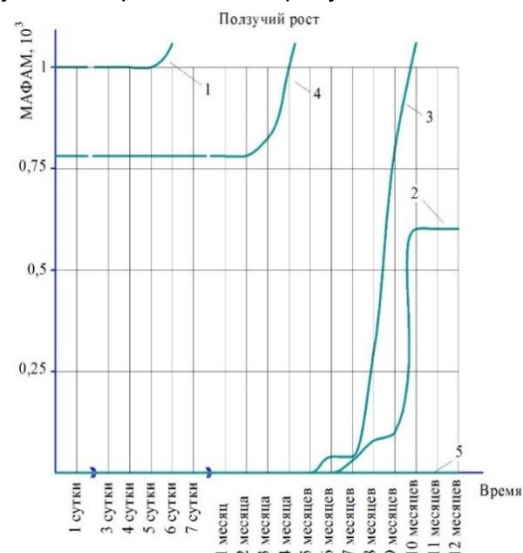


Рисунок 5 – Изменения показателя КМАФАМ в пасте из пряных трав, обработанной высоким давлением, в процессе хранения

Figure 5 – Changes in the indicator TVC in the paste of herbs processed by high pressure during storage

В результате проведенных исследований в 1 г свежего полуфабриката из пряных трав (1 образец) обнаружены плесневые грибы на 4-е сутки хранения, и общий рост МАФАМ превышает 1×10^3 в 1 г продукта на 5-е сутки, что является недопустимым для пищевых продуктов и превышает нормы содержания МАФАМ согласно ГОСТ-10444.15-94. В полуфабрикате из пряных трав стерилизованном (образец 3) в течение 8 месяцев не обнаружены плесневые грибы и бактерии группы кишечной палочки, количество бактерий МАФАМ находятся в пределах нормы. При дальнейшем хранении на 9-м месяце в образце обнаружены плесневые грибы, что не соответствует ГОСТ 10444.12-88. Как видно из рисунков 5 и 6, в зелени, консервированной солью (образец 4), все показатели находятся в норме 4 месяца хранения, на 5-м месяце в 1 г образца обнаружены бактерии группы кишечной палочки, что не соответствует ГОСТ 50474-93. Показатели в полуфабрикате из пряных трав, обработанном ВД, и сушеной зелени (образцы 2 и 5) не превышали нормы на протяжении 1 года.

ВЫВОДЫ

Полученные результаты исследований влияния обработки высоким давлением на микробиологические показатели полуфабри-

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОБРАБОТКИ ВЫСОКИМ ГИДРОСТАТИЧЕСКИМ ДАВЛЕНИЕМ НА МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОЛУФАБРИКАТА ИЗ ПРЯНЫХ ТРАВ

ката из пряных трав как сразу после обработки, так и в процессе длительного хранения, при соблюдении температурного режима от 0 °С до 25 °С и относительной влажности 75 % позволяют определить сроки хранения – 10 месяцев (или 300 суток), при этом резерв составляет еще 3 месяца.

Полученные результаты исследований микробиологических показателей полуфабриката из пряных трав, обработанного высоким давлением, в процессе хранения показали, что соблюдение температуры от 2 °С до 25 °С позволяет хранить продукт 10 месяцев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kains, (Maurice Grenville). (2007). Culinary Herbs ([edition unavailable]). Perlego. Retrieved from <https://www.perlego.com/book/1815620/culinary-herbs-their-cultivation-harvesting-curing-and-uses-pdf> (Original work published 2007).
2. Литвинов С.С., Борисов В.А. Качество и целебные свойства овощных и пряноароматических культур // Сб. науч. трудов по овощеводству и бахчеводству к 110-летию со дня рождения Б.В. Квасникова. 2009. С. 11–18.
3. Маюрникова Л.А., Куракин М.С. Пищевые и биологически активные добавки : учеб. пособие / Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. Кемерово, 2006. 124 с.
4. Ткачева М.И. Укроп и петрушка как биологически активная добавка витамина К к пище // Эндокринология: новости, мнения, обучение. 2022. Том 11, № 4 (41). С. 132–135.
5. Тутельян В.А., Лашнева Н.В. Биологически активные вещества растительного происхождения. Флавонолы и флавоны: распространенность, пищевые источники, потребление // Вопросы питания. 2013. № 1. С. 4–22.
6. Охременко С.И. Товароведная оценка качества пасты из пряных трав, обработанной высоким давлением: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Донецк : 2014. 18 с.
7. Машанов А.И. Технологические схемы и процессы переработки животного и растительного сырья: учебное пособие. Красноярск. 2013. 171 с.
8. Knorr, D. Effects of high-hydrostatic-pressure processes on food safety and quality // Food Technology. 1993. Vol. 47, № 6. pp. 156–161.
9. Высокое давление – инновационные технологии 21 века в пищевых технологиях. Bucharest. 2008. 25 с.
10. Техничко-технологическая карта «Соус равигог» № 2254 от 25.01.2022. Электронный ресурс : URL : https://vk.com/typical_cook.
11. Sokolov S., Sevatorov N., Selezneva J. Development of the module for determining the // Journal of Eco Agri Tourism. 2013. Vol. 9, № 1 (26). P. 51–54.
12. Knorr D. Hydrostatic pressure treatment of food: microbiology // New Methods of Food Preservation. 1995. pp. 159-175.

Информация об авторах

С. И. Охременко – кандидат технических наук, доцент, заведующей кафедрой юридического менеджмента ГБОУ ВО «Донбасская юридическая академия».

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.*

Статья поступила в редакцию 27 февраля 2023; одобрена после рецензирования 18 сентября 2023; принята к публикации 20 ноября 2023.

The article was received by the editorial board on 27 Feb 2023; approved after editing on 18 Sep 2023; accepted for publication on 20 Nov 2023.

С. А. Соколов – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет».

А. А. Яшонков – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой машин и аппаратов пищевых производств ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет».

REFERENCES

1. Kains, (Maurice Grenville). (2007). Culinary Herbs ([edition unavailable]). Perlego. Retrieved from <https://www.perlego.com/book/1815620/culinary-herbs-their-cultivation-harvesting-curing-and-uses-pdf> (Original work published 2007).
2. Litvinov, S.S., Borisov, V.A. (2009). Kachestvo i celebnye svoystva ovoshchnyh i pryanoaromaticheskikh kultur. Sb. nauch. trudov po ovoshchevodstvu i bahchevodstvu k 110-letiyu so dnya rozhdeniya B.V. Kvasnikova, P. 11-18. (In Russ.).
3. Mayurnikova, L.A., Kurakin, M.S. (2006). Pishchevye i biologicheski aktivnyye dobavki: uchebnoe posobie. Kemerovskiy tekhnologicheskij institut pishchevoj promyshlennosti. Kemerovo. 124 p. (In Russ.).
4. Tkacheva, M.I. (2022). Ukrop i petrushka kak biologicheski aktivnaya dobavka vitamina K k pishche // Endokrinologiya: novosti, mneniya, obucheniye. T. 11, No. 4 (41). P. 132-135. (In Russ.).
5. Tutel'yan, V.A., Lashneva, N.V. (2013). Biologicheski aktivnyye veshchestva rastitel'nogo proiskhozhdeniya. Flavonoly i flavony: rasprostranennost', pishchevye istochniki, potrebleniye. Voprosy pitaniya. No 1. P. 4-22. (In Russ.).
6. Ohremenko, S.I. (2014). Tovarovednaya ocenka kachestva pasty iz pryanyh trav, obrabotannoy vysokim davleniem: Avto-ref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Doneck. 18 p. (In Russ.).
7. Mashanov, A.I. (2013). Tekhnologicheskie skhemy i processy pererabotki zhivotnogo i rastitel'nogo syr'ya: uchebnoe posobie. Krasnoyarsk. p. 171. (In Russ.).
8. Knorr, D. Effects of high-hydrostatic-pressure processes on food safety and quality. (1993).
9. Food Vysokoe davlenie – innovacionnye tekhnologii 21 veka v pishchevyh tekhnologiyah (2008). Bucharest. 25 p. (In Russ.).
10. Tekhniko-tekhnologicheskaya karta «Souc ravigot» (2022). No 2254 ot 25.01.2022. Elektronnyj resurs URL: https://vk.com/typical_cook. (In Russ.).
11. Sokolov, S., Sevatorov, N., Selezneva, J. Development of the module for determining the (2013). Journal of Eco Agri Tourism. Vol. 9, No. 1 (26). P. 51-54.
12. Knorr, D. Hydrostatic pressure treatment of food: microbiology (1995). New Methods of Food Preservation. P. 159-175.

Information about the authors

S. I. Ohremenko - Ph.D. (Engin.), Associate professor, Head of the Department of Legal Management Donbass Law Academy.

S. A. Sokolov - Dr. Sci. (Engin.), professor, Professor of the Department of machines and apparatus of food production Kerch State Maritime Technological University.

A. A. Yashonkov - Ph.D. (Engin.), Associate professor, Head of the Department of machines and apparatus for food production Kerch State Maritime Technological University.



РАЗДЕЛ 2. ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАУКИ О МАТЕРИАЛАХ, МЕТАЛЛУРГИЯ

Научная статья

2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов (технические науки)

УДК 549:54.055

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.022



СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СИСТЕМЫ «ПОКРЫТИЕ (Ag–С)/(МЕДЬ) ПОДЛОЖКА», ОБЛУЧЕННОЙ ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

Денис Анатольевич Романов¹, Станислав Владимирович Московский²,
Василий Витальевич Почетуха³, Екатерина Степановна Ващук⁴,
Юрий Федорович Иванов⁵

^{1, 2, 3} Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия

¹ romanov_da@physics.sibsiu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6880-2849>

³ v.pochetuha@mail.ru

⁴ филиал Кузбасского государственного технического университета в г. Прокопьевске, Прокопьевск, Россия, vaschuk@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1345-7419>

⁵ Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭ СО РАН), Томск, Россия, yufi55@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8022-7958>

Аннотация. Полученная система Ag–С, сформированная на медной подложке, характеризуется высокоразвитой толщиной покрытия от 50 мкм до 550 мкм. В покрытии углеродное волокно присутствует в виде пластин. Покрытие представляет собой легированный атомами меди агрегат. Изменение концентрации атомов меди при изменении расстояния от поверхности покрытия в глубину имеет положительный градиент. Формирование твердых растворов внедрения на основе меди и серебра подтверждено данными рентгенофазового анализа. Исследования методом микрорентгеноспектрального анализа фольг для просвечивающей электронной микроскопии показали, что медь в покрытии располагается в виде тонких прослоек по границам зерен серебра, либо формирует включения (зерна) субмикроструктурных размеров. Установлено, что графит присутствует в виде наноразмерных (10–15 нм) частиц в объеме зерен серебра и зерен меди, а также располагается на границах зерен серебра. В системе Ag–С/Si выявлено формирование переходного слоя толщиной 250–300 нм. Размер субзерен в переходном слое изменяется в пределах 150–250 нм. Модуль упругости и микротвердость по Виккерсу уменьшаются с увеличением глубины покрытия. Износостойкость покрытия составляет $6 \cdot 10^{-6}$ мм³/Н·м. Полученный набор свойств и характеристик структуры позволяет сделать вывод о пригодности сформированных покрытий для работы в электрических контактах мощных электрических сетей. Конкретный выбор определенной модели контактов требует дополнительных уточняющих исследований.

Ключевые слова: низкоэнергетичный импульсный электронный пучок, серебро, углеродное волокно, медь, наноразмерные частицы, твердость, модуль упругости, износостойкость.

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке Гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук МК-4292.2022.4. Электровзрывное напыление произведено с использованием оборудования научной лаборатории электровзрывного напыления высоконадежных покрытий – создана согласно постановлению Правительства Кемеровской области – Кузбасса № 632 от 19 сентября 2022 г., соглашение № 8. Исследования проведены с использованием оборудования ЦКП «Структура, механические и физические свойства материалов» ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет».

Для цитирования: Структура и свойства системы «покрытие (Ag–С)/(медь) подложка», облученной импульсным электронным пучком / Д. А. Романов [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 4, С. 166–177. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.022. EDN: <https://elibrary.ru/BUQPKJ>.

Original article

STRUCTURE AND PROPERTIES OF THE SYSTEM "COATING (Ag-C)/(COPPER) SUBSTRATE", IRRADIATED BY A PULSE ELECTRON BEAM

Denis A. Romanov¹, Stanislav V. Moskovsky², Vasily V. Pochetuha³,
Ekaterina S. Vashchuk⁴, Yury F. Ivanov⁵

^{1,2,3} Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

¹ romanov_da@physics.sibsiu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6880-2849>

³ v.pochetuha@mail.ru,

⁴ Kuzbass State Technical University, Prokopyevsk branch, Prokopyevsk, Russia, vashchuk@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1345-7419>

⁵ Institute of High Current Electronics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ISE SB RAS), Tomsk, Russia, yufi55@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8022-7958>

Abstract. *The resulting Ag-C system formed on a copper substrate is characterized by a highly developed coating thickness from 50 μm to 550 μm. In the coating, carbon-graphite fiber is present in the form of plates. The coating is an aggregate doped with copper atoms. Change the concentration of copper atoms when changing the distance from the surface of the coating to the depth has a positive gradient. The formation of interstitial solid solutions based on copper and silver is confirmed by X-ray phase analysis data. Studies by X-ray microanalysis of foils for transmission electron microscopy showed that copper in the coating is located in the form of thin layers along the boundaries of silver grains, or forms inclusions (grains) of submicrocrystalline sizes. It has been established that graphite is present in the form of nanosized (10-15 nm) particles in the volume of silver grains and copper grains, and is also located at the boundaries of silver grains. In the Ag-C/Cu system, the formation of a transition layer with a thickness of 250–300 nm was revealed. The size of subgrains in the transition layer varies within 150–250 nm. It is shown that the hardness and Young's modulus decrease with distance from the surface to the interface between the coating and the substrate. It has been established that the coating wear parameter is 6·10⁻⁶ mm³/N·m, which is 12.2 times less than the copper wear parameter. The resulting set of properties and characteristics of the structure allows us to conclude that the coatings formed are suitable for working in electrical contacts of powerful electrical networks. The specific choice of a specific model of contacts requires additional clarifying studies.*

Keywords: *low-energy pulsed electron beam, silver, carbon fiber, copper, nanosized particles, hardness, Young's modulus, wear resistance.*

Acknowledgments: *The study was financially supported by the Grant of the President of the Russian Federation for state support of young Russian scientists - PhDs MK-4292.2022.4. Electroexplosive spraying was carried out using the equipment of a scientific laboratory for electroexplosive spraying of highly reliable coatings, created in accordance with the Decree of the Government of the Kemerovo Region - Kuzbass No. 632 of September 19, 2022, agreement No. Physical Properties of Materials" FGBOU VO "Novosibirsk State Technical University".*

For citation: Romanov, D. A., Moskovsky, S. V., Pochetuha, V. V., Vashchuk, E. S. & Ivanov, Yu. F. (2023). Structure and properties of the system "Coating (Ag-C)/(copper) substrate", irradiated by a pulse electron beam. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 166-177. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.022. EDN: <https://elibrary.ru/BUQPKJ>.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время актуальной проблемой электротехники является получение материалов, из которых изготавливаются электрические контакты. Взаимодействующие контакты должны быть прочными, стойкими к электрокоррозии, залипанию и окислению в процессе включения и выключения электри-

ческой цепи, а также обладать высокими значениями тепло- и электропроводности. Такие требования к материалам реализовываются в композиционных покрытиях. Максимальные значения электропроводимости наблюдаются у сплавов, включающих в состав углерод и медь, золото, серебро, кобальт, алюминий, никель [1, 2] в различных концентрациях.

Электрические контакты на основе сере-

бра с несколькими весовыми процентами углерода в виде графита нашли широкое применение в низковольтной энергетике [3–8]. Однако их недостатком являются сильное прогорание и плохое рассеивание дуги. Поэтому в настоящем исследовании было принята попытка заменить углеграфитовое волокно вместо порошка графита. Углеродное волокно служит каркасом изделия, а в качестве матрицы применяются различные металлы. Самую высокую тепло- и электропроводность имеет серебро, но оно имеет низкую твердость. Как правило, в электрических соединениях должны использоваться контакты из одного и того же материала. Ток, проходящий через контакт серебро-серебро, имеет относительно большую площадь проводимости. Выбранный металл также имеет хорошие характеристики паяемости, а его оксиды обеспечивают проводимость тока. Поэтому серебро может быть подходящим выбором для сочетания с медью [9–10]. Присадка меди увеличивает твердость и понижает его эрозию.

Серебряные сплавы применяются в слабых электромеханических реле постоянного или переменного тока частотой 50 Гц для управления аппаратурой автоматики и связи в цепях повышенной мощности. Композиционные сплавы востребованы для изготовления в электромеханических реле для устройств сигнализации, контактов автоматов, электрических щеток, контакт-деталей заклепочного типа, контактах реле в блоках питания, централизации и блокировки на железнодорожном транспорте [1, 2, 8]. Они должны обладать максимальными эксплуатационными свойствами, которые обеспечат их работоспособность в количестве более миллиона циклов замыкания и размыкания [1, 2, 8].

Электроконтакты на основе графита создают химическим осаждением металлов. С помощью ионно-плазменной струи происходит насыщение металлическими навесками упрочняемой поверхности. Для придания детали нужных размеров и требуемого качества поверхности проводят фрезерование и шлифование детали [11, 12, 13].

Другим способом получения композиционных материалов медь-серебро-углерод является порошковая металлургия, при которой порошки различных материалов загружаются в формы, прессуются, а затем спекаются, после чего частицы порошка слипаются за счет взаимной диффузии. После спекания качество поверхности достигается резанием или шлифованием [5, 14, 15].

Наряду с практической значимостью данного композиционного соединения большую роль играет научное исследование полученной структуры. Наибольшую ценность получило образование нанокристаллов, которые обладают повышенными физическими свойствами системы [1, 13–18].

В последние 20 лет развивается метод электровзрывного напыления высоконадежных покрытий, который позволяет формировать покрытия субмикро- и нанометрового диапазона структуры с помощью плазменных струй продуктов взрыва проводников [1, 8, 14, 15]. Дополнительная электронно-пучковая обработка используется в настоящей работе для сглаживания неровностей поверхности покрытия, устранения пор и неоднородностей вместо механической обработки, тем самым позволяет избежать потерь нанесенного материала.

Целью настоящей работы служит изучение структуры и свойств композиционного покрытия серебро-углерод на медных электродах после обработки импульсным электронным пучком.

МЕТОДЫ

Предметом исследования были электровзрывные покрытия серебро-углерод, сформированные на медных электродах. В итоге электрического взрыва серебряной фольги массой 400 мг и углеграфитового волокна массой 50 мг было создано покрытие на меди при поглощаемой плотности мощности 5,5 ГВт/м² на облучаемой поверхности. Давление в ударно-сжатом слое около места обработки составляет ~ 12,5 Мпа, остаточное давление газа в рабочей камере ~ 100 Па. Температура оплавления поверхности порядка ~ 10⁴ К. Время плазменного воздействия составляет ~ 100 мкс. Покрытия напыляли на образцы-мишени из электротехнической меди. Химический состав меди приведен в [1]. После электровзрывного напыления медные образцы-мишени с покрытиями подвергали дополнительному облучению импульсным электронным пучком, характеризующимся энергией ускоренных электронов 18 кэВ, плотностью энергии пучка электронов 60 Дж/см², длительностью импульса – 100 мкс, частотой следования импульсов – 0,3 с⁻¹, числом импульсов – 10. Элементный и фазовый состав проводили на сканирующем электронном микроскопе MIRA 3 Tescan и просвечивающем электронном микроскопе JEM-2100F, JEOL. Был проведен рентгенофазовый и рентгеноструктурный анализ поверхности на дифрактометре Shimadzu XRD 6000 в медном отфильтрованном излучении Cu-K α 1; монохроматор CM-3121. Микротвердость измеряли на приборе ТТХ-ННТ S/N: 01-04538.

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 4 2023

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СИСТЕМЫ «ПОКРЫТИЕ (Ag–C)/(МЕДЬ) ПОДЛОЖКА», ОБЛУЧЕННОЙ ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

Методика эксперимента указана в [1]. Также был определен модуль упругости. Износостойкость определяли на трибометре Pin on Disc and Oscillating TRIBOtester [1]. Профиль канавки износа и ее параметры исследовали контактным нанопрофилометром.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Электронно-микроскопические исследования поперечных травленных шлифов данной системы показало формирование слоев неоднородной структуры (рис. 1), толщиной от 50 до 550 мкм. Покрытие имеет неоднородный фазовый состав и содержит включения преимущественно пластинчатой (цилиндрической) формы и размеров (рис. 1).

Как и следовало ожидать, данные включения являются графитом, для убедительности показано методами микрорентгено-спектрального анализа (метод картирования),

результаты которого приведены на рис. 2. Часто включения графита в системе «покрытие (Ag–C)/(медь) подложка» наблюдаются в виде скоплений разнообразной формы и размеров (рис. 3). В совокупности это указывает на формирование в покрытии механической смеси двух фаз – серебра и графита.

Метод картирования «по точкам» продемонстрировал распределение химических элементов покрытия в количественном отношении. Результаты такого исследования приведены на рисунке 4 и рисунке 5, а также представлены в таблице 1. Анализируя представленные в таблице 1 данные, можно также отметить неоднородное распределение химических элементов в покрытии. Кроме этого, отчетливо видно легирование покрытия атомами меди (подложка). При этом концентрация атомов меди увеличивается по мере удаления от поверхности покрытия.

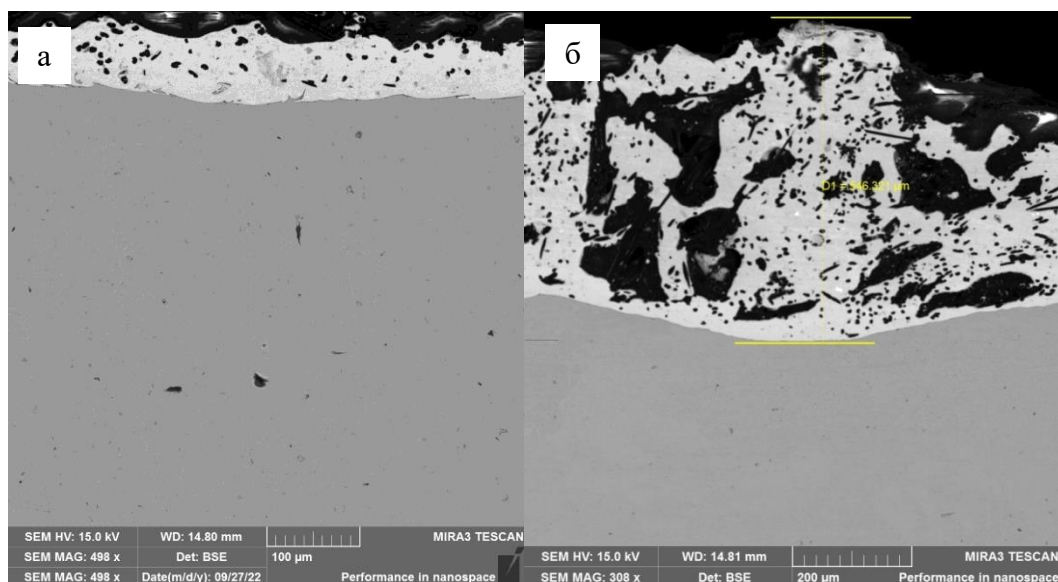


Рисунок 1 – Сканирующая электронная микроскопия поверхности серебро–углерод на медном электроде при увеличении SEM MAG 498x (а) и 308 x (б). Поперечный шлиф

Figure 1 – Scanning electron microscopy of a silver-carbon surface on a copper electrode at SEM MAG 498x (a) and 308x (b) magnification. Crosssection

Таблица 1 – Данные микрорентгеноспектрального количественного анализа элементного состава поверхности серебро–углерод, определенные «по точкам» на рис. 4, а соответственно

Table 1 – The data of the microrentgenospectral quantitative analysis of the elemental composition of the silver-carbon surface, determined "by points" in Fig. 4, and respectively

Элемент	Номер спектра, представленного на рис. 4											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13
Cu	5,6	0,0	5,6	0,0	8,9	8,1	37,4	100,0	100,0	17,2	25,6	52,1
Ag	94,4	0,0	94,4	0,0	91,1	91,9	62,6	0,0	0,0	82,8	74,4	47,9

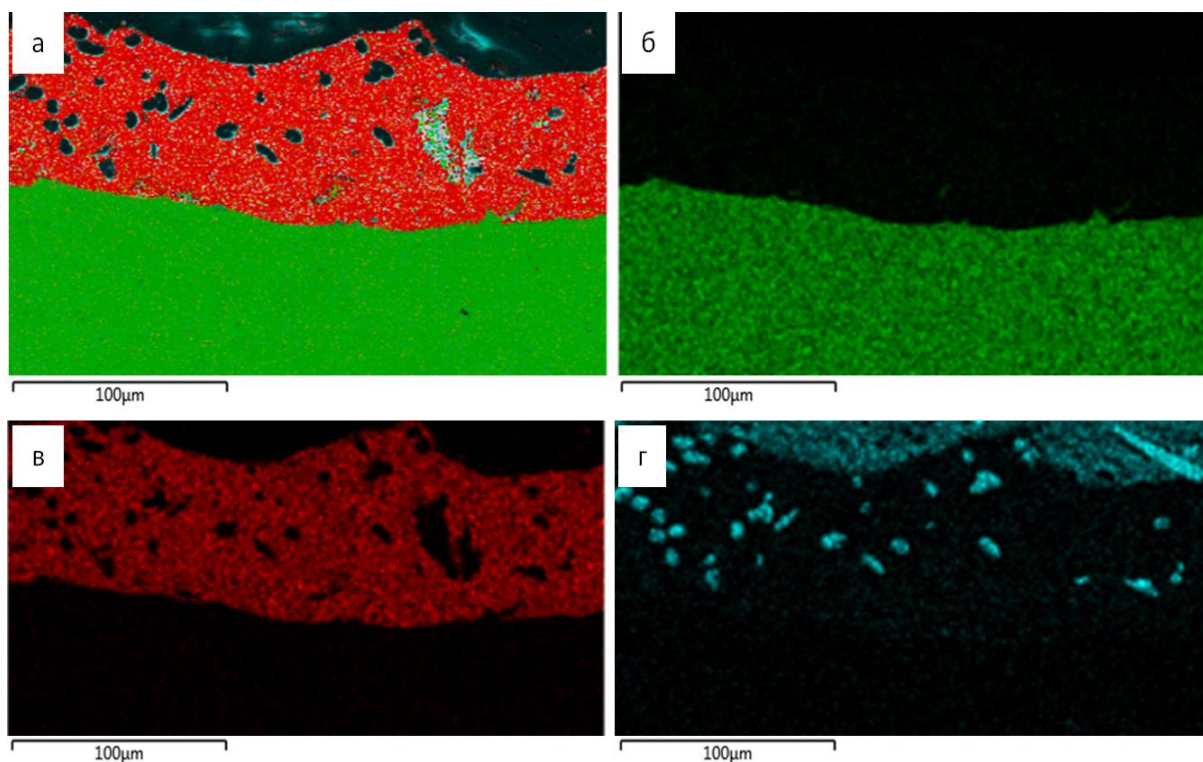


Рисунок 2 – Характеристическое рентгеновское излучение атомов меди (б), серебра (в) и углерода (г); а – многослойная карта ЭДС, полученная наложением изображений (б–г) поверхности серебро-углерод на медном электроде

Figure 2 – Characteristic X-ray radiation of copper atoms (b), silver (c) and carbon (g); a – multilayer EMF map obtained by overlaying images (b–d) silver-carbon surface on a copper electrode

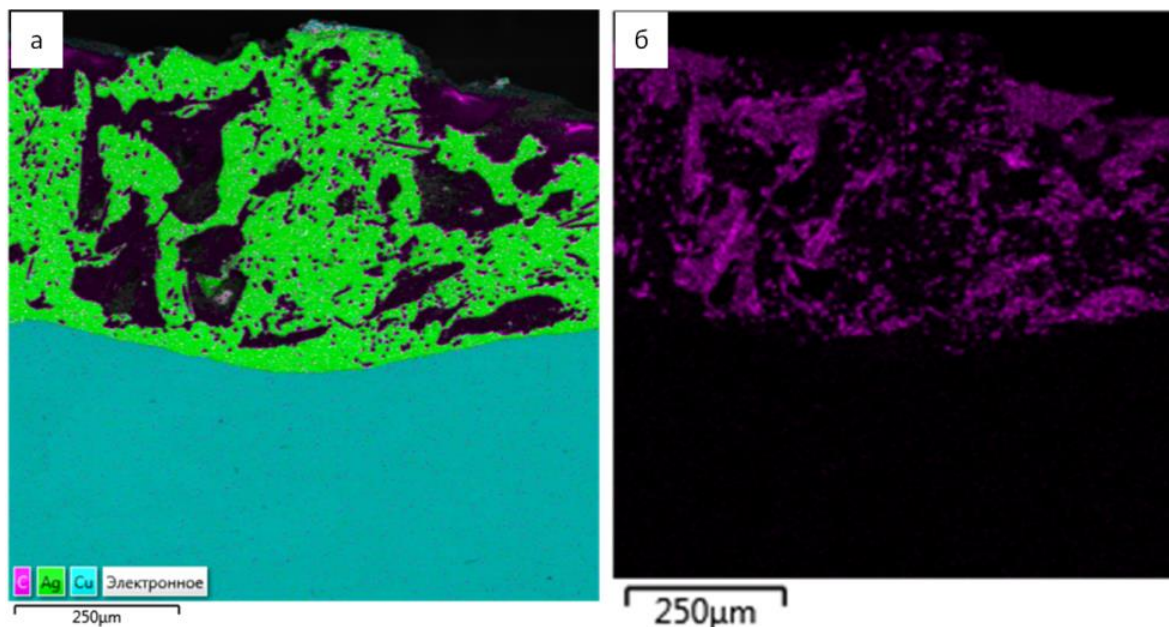


Рисунок 3 – Многослойная карта ЭДС поверхности серебро-углерод (а), соответствующей рентгеновскому излучению атомов углерода (б)

Figure 3 – Multilayer EMF map of the silver-carbon surface (a) corresponding to the X-ray emission of carbon atoms (b)

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СИСТЕМЫ «ПОКРЫТИЕ (AG-C)/(МЕДЬ) ПОДЛОЖКА»,
ОБЛУЧЕННОЙ ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

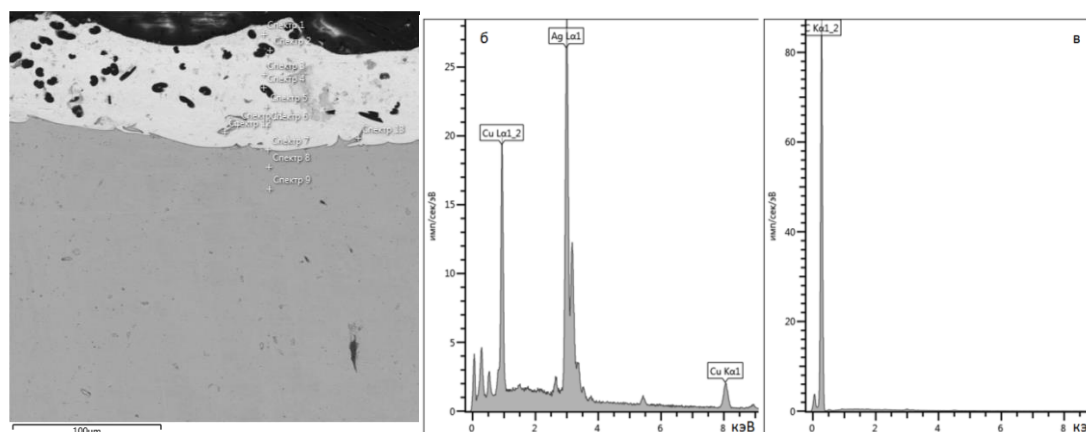


Рисунок 4 – Сканирующая электронная микроскопия поперечного шлифа поверхности серебро–углерод (а); энергетические спектры, полученные с участков № 7 и № 4 (б, в). На (а) обозначены локальные точки образца, в которых проведен микрорентгеноспектральный анализ

Figure 4 – Scanning electron microscopy of the transverse section of the silver-carbon surface (a); energy spectra obtained from sites No. 7 and No. 4 (b, c). Local points of the sample are indicated on (a), in which a microrentgenospectral analysis was performed

Рентгенофазовый анализ поверхности показал формирование двухфазного покрытия (рисунок 5). Сплав серебро–медь имеет эвтектический состав, в котором растворимость элементов друг в друге незначительна. Температуре эвтектического равновесия системы серебро–медь соответствует 781 °С, а ее концентрации – 39,8 (ат.)Cu. Предельная растворимость меди в серебре равна 13,6 % (ат.), а предельная растворимость серебра в меди – 4,9 % (ат.) [19, 20].

Относительная массовая доля фаз и их параметры приведены в таблице. 2.

Анализ результатов относительного фазового содержания, представленного в табл. 2, показывает, что параметр кристалли-

ческой решетки и меди и серебра отличается от параметра кристаллической решетки чистых металлов. Это свидетельствует о присутствии в покрытии твердого раствора медь–серебро. Графит методами рентгенофазового анализа не выявлен.

Просвечивающая электронная дифракционная микроскопия дефектной субструктуры показала, что медь в покрытии располагается преимущественно по границам зерен серебра (рисунок 6).

Атомы углерода в этом случае не выявляются, что может свидетельствовать об их обособленном расположении в виде различного размера частиц, как это было показано выше (рисунки 1 и 2).

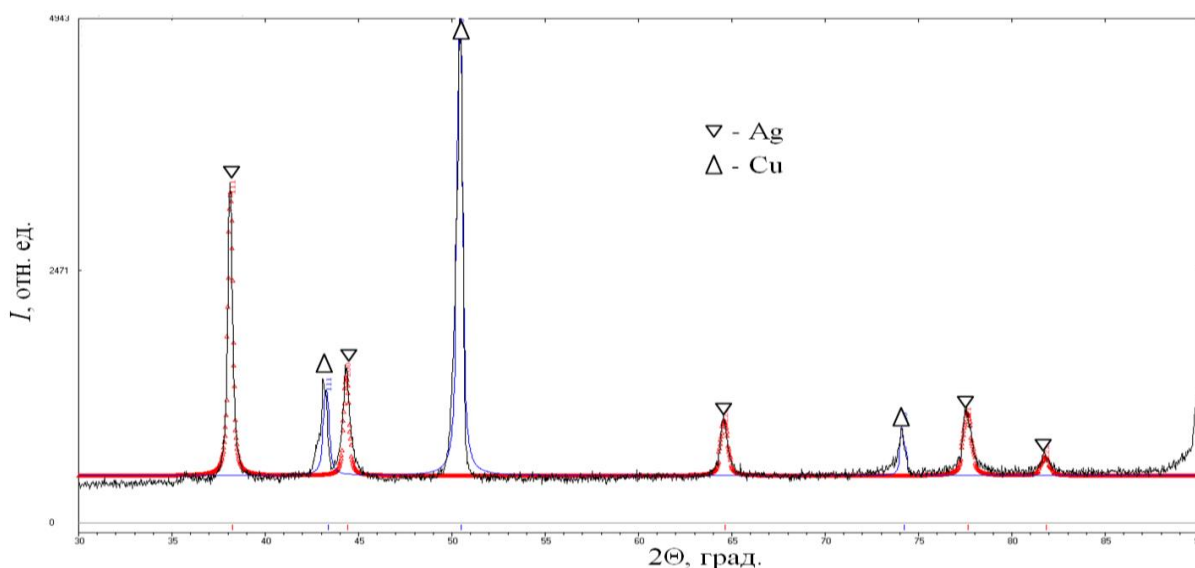


Рисунок 5 – Рентгенограмма поверхности серебро–углерод после облучения электронным пучком

Figure 5 – Radiograph of the silver-carbon surface after electron beam irradiation

Таблица 2 – Данные элементного содержания и параметров кристаллической решетки поверхности серебро–углерод после облучения электронным пучком

Table 2 – Data on the elemental content and parameters of the crystal lattice of the silver-carbon surface after electron beam irradiation

Образец	Обнаруженные фазы	Содержание фаз, масс. %	Параметры решетки, Å	Размер областей когерентного рассеяния, нм	$\Delta d/d, 10^{-3}$
Система «(Ag–C)/(медь)» + электронно-пучковая обработка	Ag	34,4	$a = 4,0743$	63,29	1,507
	Cu	65,6	$a = 3,6106$	34,34	1,032

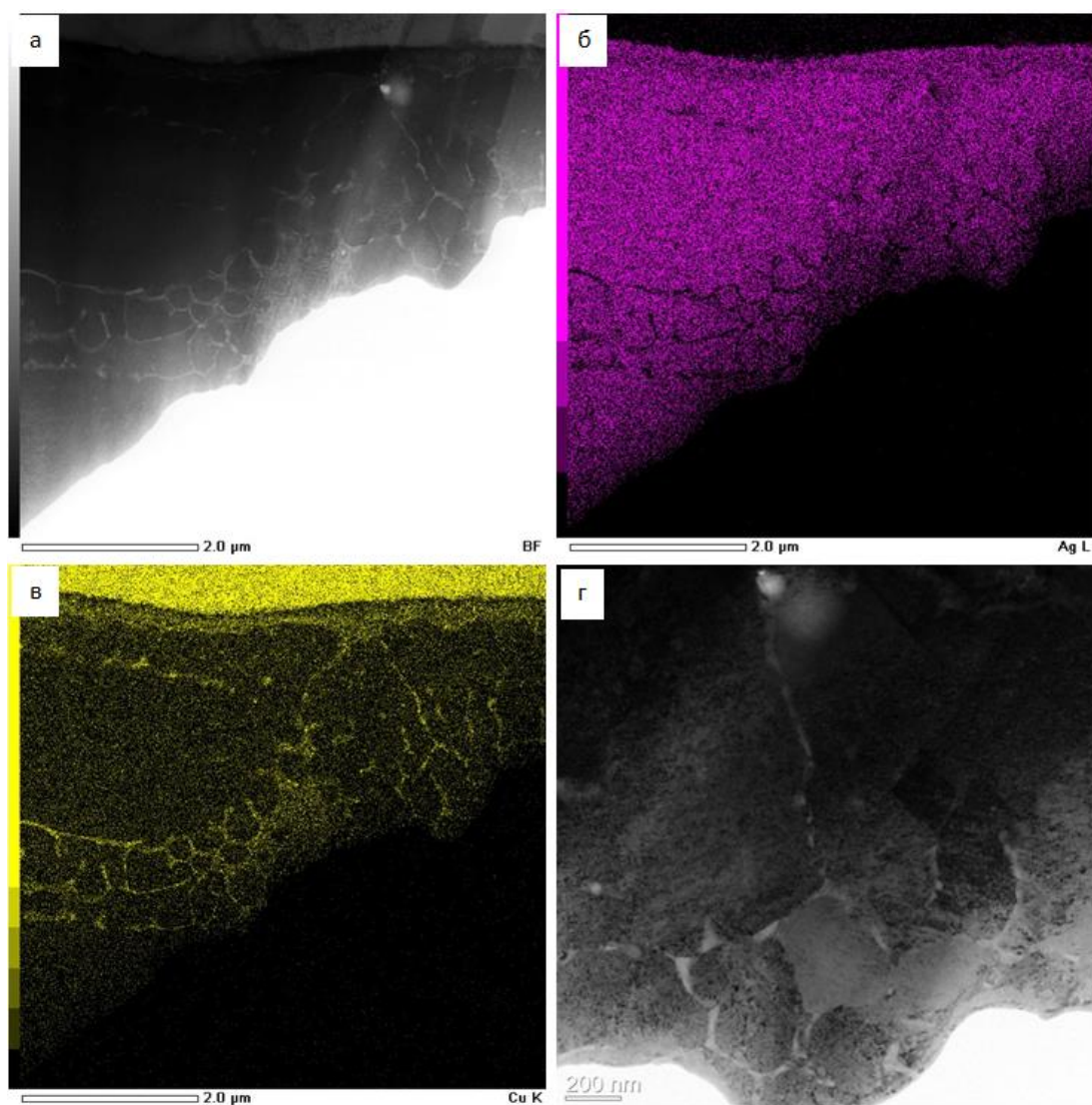


Рисунок 6 – Электронная микроскопия структуры системы серебро–углерод на медной подложке (а, д); б, в – изображения участка фольги (а), полученные в характеристическом рентгеновском излучении атомов серебра (б) и меди (в)

Figure 6 – Electron microscopy of the structure of the silver-carbon system on a copper substrate (a, d); b, c – images of the foil section (a) obtained in the characteristic X-ray radiation of silver (b) and copper (c) atoms

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СИСТЕМЫ «ПОКРЫТИЕ (AG-C)/(МЕДЬ) ПОДЛОЖКА»,
ОБЛУЧЕННОЙ ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

Анализ микроэлектроннограммы (рис. 7, б) позволяет утверждать, что данный участок покрытия сформирован зернами серебра (рис. 7, в). В объеме зерен серебра присутствуют наноразмерные (10–15 нм) частицы графита (рис. 7, г). Частицы графита присутствуют также и на границах зерен серебра (рис. 7, в, г). На рисунке 8 приведены электронно-микроскопические изображения участ-

ка покрытия, в котором по границам зерен серебра расположены частицы графита (рис. 8, г, е) и прослойки меди (рис. 8, д). В объеме зерен серебра расположены наноразмерные (12–15 нм) частицы графита (рис. 8, в).

Электронно-микроскопическое изображение структуры границы контакта покрытия и подложки приведено на рисунке 10.

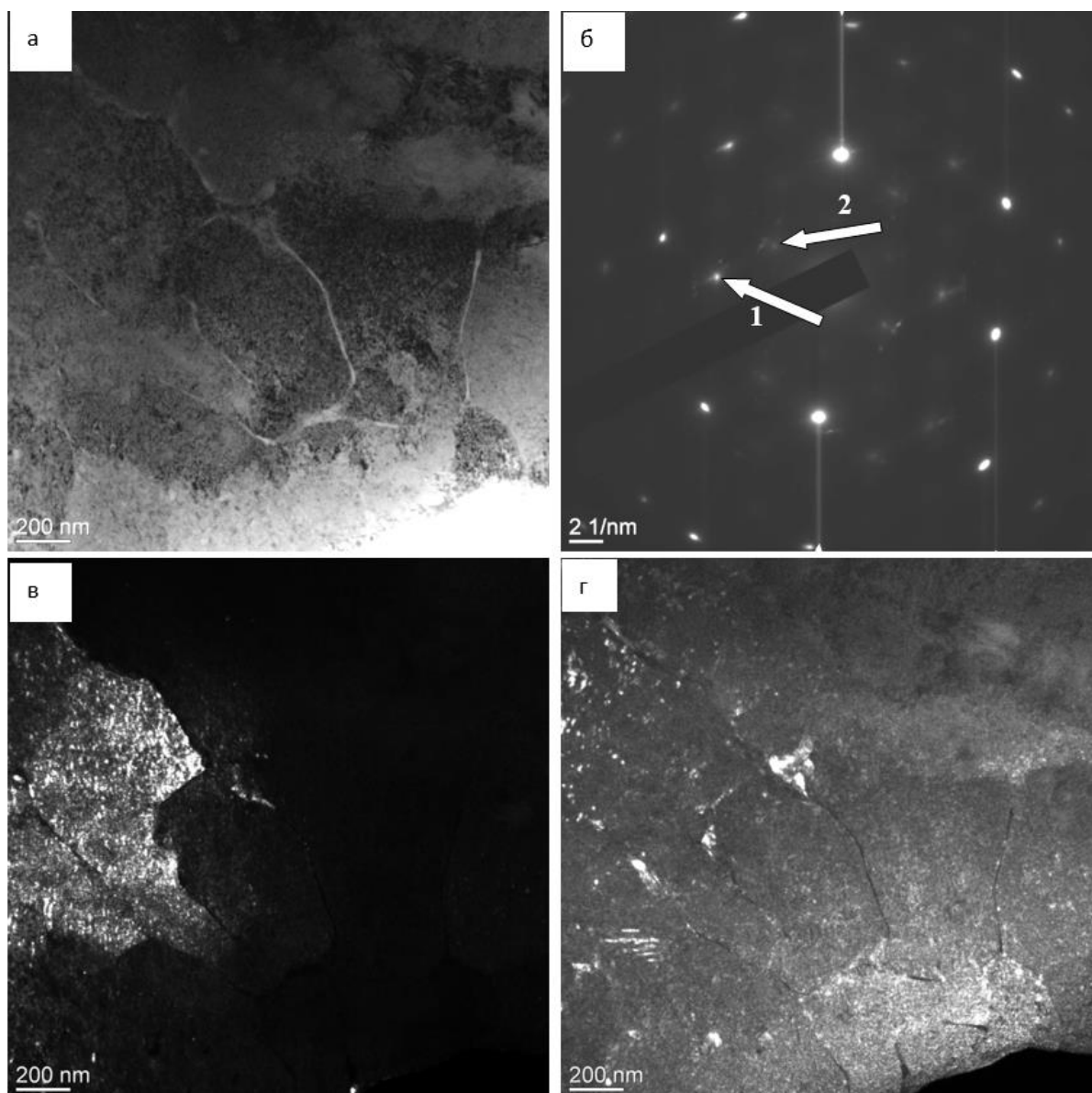


Рисунок 7 – Светлопольное изображение поверхности серебро-углерод на медном электроде (а); микроэлектроннограмма (б); темнопольные изображения (в, г), полученные в рефлексах $[022]Ag + [416]C$ (в) и $[111]Ag + [111]C$ (г). На (б) стрелки показывают рефлексы, в которых получены темнопольные изображения: 1 – для (в); 2 – для (г). Просвечивающая электронная дифракционная микроскопия

Figure 7 – Light-field image of the silver-carbon surface on a copper electrode (a); micro-electronogram (b); dark-field images (c, d) obtained in reflexes $[022]Ag + [416]C$ (c) and $[111]Ag + [111]C$ (d). On (b) arrows show reflexes in which dark-field images are obtained: 1 - for (c); 2 - for (d). Transmission electron diffraction microscopy

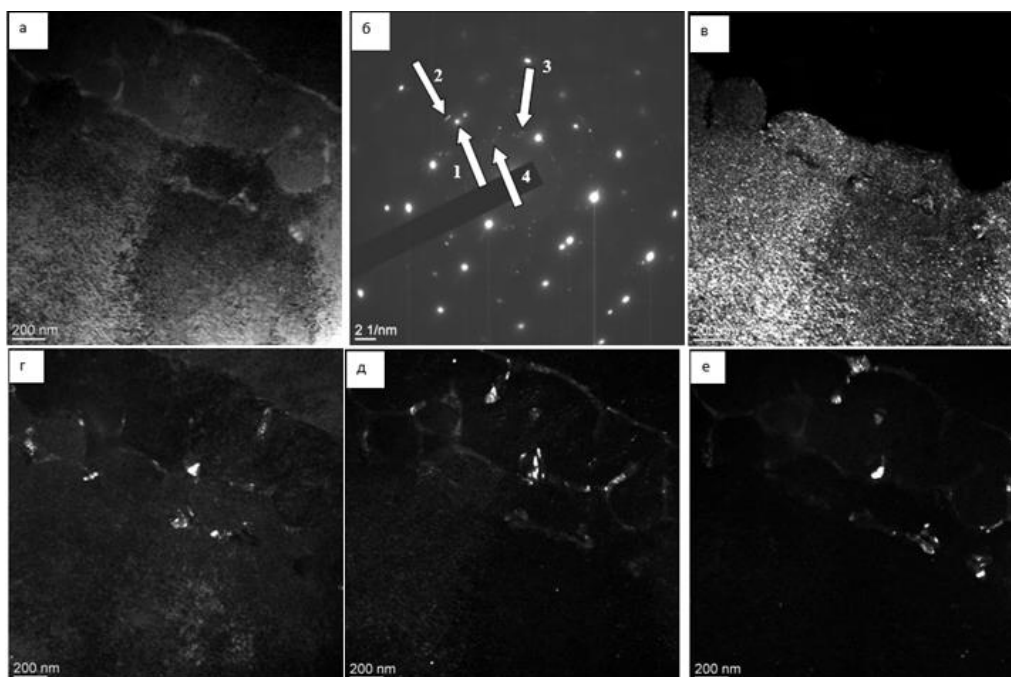


Рисунок 8 – Светлопольное изображение структуры серебро–углерод на медном катоде (а); микроэлектронограмма (б); темнопольные изображения (в–е), полученные в рефлексах [110]C + [311] Ag (в); [112]C (г); [111]Cu (д); [205]C (е). На (б) стрелки показывают рефлексы, в которых получены темнопольные изображения 1 – для (в); 2 – для (г), 3 – для (д), 4 – для (е).

Просвечивающая электронная дифракционная микроскопия

Figure 8 – Light-field image of the silver-carbon structure on a copper cathode (a); microelectronogram (b); dark-field images (c-e) obtained in reflexes [110]C + [311]Ag (c); [112]C (d); [111]Cu (e); [205]C (e). On (b) the arrows show reflexes, in which dark-field images were obtained 1 - for (c); 2 - for (d), 3 - for (e), 4 - for (e). Transmission electron diffraction microscopy

Результаты механических свойств рассматриваемой системы показывают, что твердость и модуль упругости снижаются при удалении от поверхности к границе контакта покрытия и подложки (рисунок 9).

Отчетливо видно формирование переходного слоя толщиной 250–300 нм. Слой имеет субзеренное строение с размером субзерен, изменяющимся в пределах от 150 до 250 нм (рис. 10, г–е). Фазовый состав переходного слоя представлен медью, серебром и графитом.

Трибологические свойства данной системы после обработки электронным пучком характеризуются параметром износа поверхности, равным $6,0 \cdot 10^{-6} \text{ мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м}$, который меньше в 12,2 раза параметра износа основы. Коэффициент трения поверхностных слоев равен 0,3 и равен коэффициенту трения основы.

Таким образом, на основании данных фазового состава и структуры поверхности кратное увеличение твердости полученного слоя и износостойкости покрытия можно соотнести с формированием субмикро- нанокристаллической

многофазной структуры вследствие облучения покрытия импульсным электронным пучком.

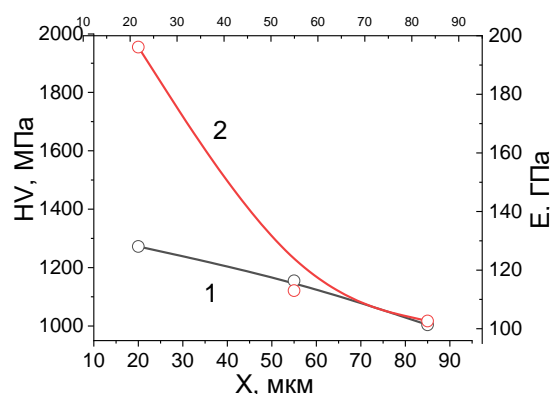


Рисунок 9 – Зависимости твердости (кривая 1) и модуля упругости (кривая 2) от расстояния от поверхности покрытия, облученного импульсным электронным пучком

Figure 9 – Dependences of hardness (curve 1) and Young's modulus (curve 2) on the distance from the surface of the coating irradiated with a pulsed electron beam

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СИСТЕМЫ «ПОКРЫТИЕ (AG-C)/(МЕДЬ) ПОДЛОЖКА»,
ОБЛУЧЕННОЙ ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

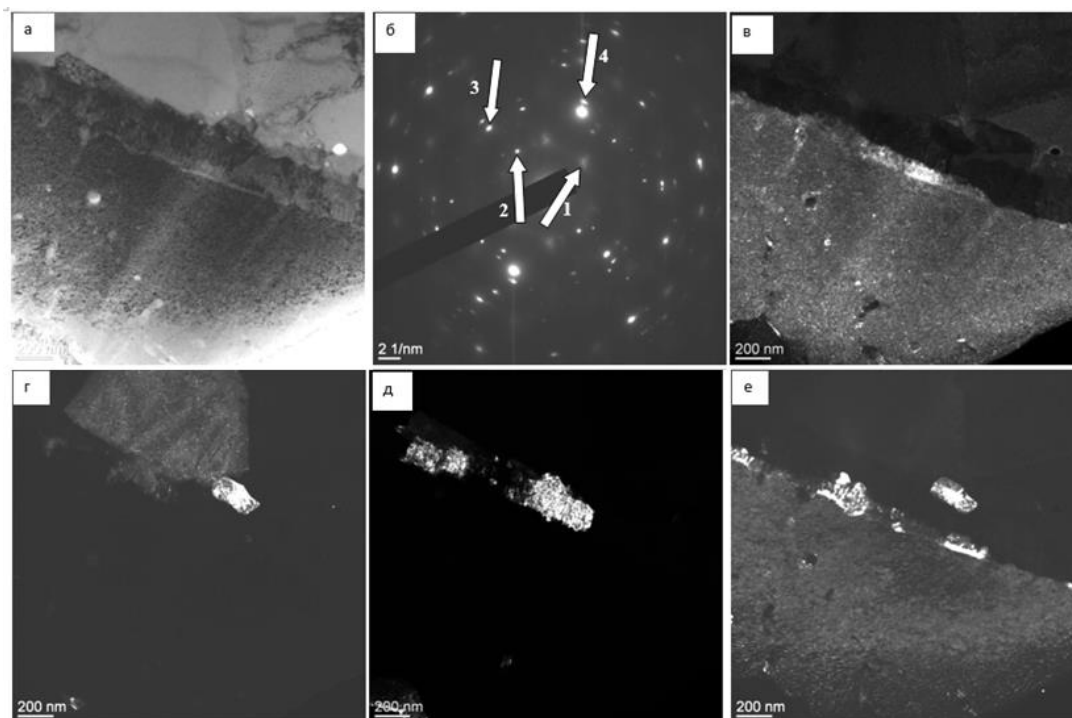


Рисунок 9 – Светлопольное изображение системы серебро–углерод на медном электроде (а); микроэлектронграмма (б); темнопольные изображения (в–е), полученные в рефлексах [111]Ag + [213]C (в), [111]Cu + [111]C (г), [311]Ag + [110]C (д) и [200]Cu + [006]C (е). На (б) стрелками указаны рефлексы, в которых получены темнопольные изображения: 1 – для (в); 2 – для (г), 3 – для (д), 4 – для (е).
Просвечивающая электронная дифракционная микроскопия

Figure 9 – Brightfield image of a silver-carbon system on a copper electrode (a); microelectronogram (b); dark-field images (c-f) obtained in reflexes [111]Ag + [213]C (c), [111]Cu + [111]C (d), [311]Ag + [110]C (e) and [200]Cu + [006]C (f). In (b) the arrows indicate the reflections in which dark-field images were obtained: 1 - for (c); 2 - for (d), 3 - for (e), 4 - for (f).
Transmission electron diffraction microscopy

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что формируется неоднородное по структуре покрытие Ag–C толщиной 50 до 550 мкм. В данном покрытии графит представлен пластинчатой формой и в виде скоплений разнообразной формы и размеров. Также данное покрытие насыщается атомами меди, концентрация которых увеличивается по глубине обработки. Исследования рентгенофазового анализа показали образование твердого раствора меди и серебра, графит не был выявлен. Анализ тонких фольг установил, что медь в покрытии располагается в виде тонких прослоек по границам зерен серебра, либо формирует включения (зерна) субмикронных размеров. Установлено, что графит присутствует в виде наноразмерных (10–15 нм) частиц в объеме зерен серебра и зерен меди, а также располагается на границах зерен серебра. В результате обработки формируется переходный слой между покрытием и основой толщиной 250–

300 нм, который имеет субзеренное строение с размерами субзерен от 150 до 250 нм. Наблюдается уменьшение микротвердости и модуля упругости по глубине покрытия. Параметр износа покрытия составляет $6 \cdot 10^{-6}$ мм³/Н·м, что в 12,2 раз меньше параметра износа основы. Коэффициент трения покрытия и основы совпадают, и равны 0,3. Увеличение твердости и износостойкости поверхностного слоя связано с формированием субмикро- нанокристаллической многофазной структуры вследствие облучения покрытия импульсным электронным пучком.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Формирование структуры и свойств электро-взрывных электроэрозсионностойких покрытий на медных контактах переключателей мощных электрических сетей : монография / В.В. Почетуа [и др.]. Новокузнецк : ООО Полиграфист, 2023. 257 с.
2. Материал для электрических контактов и способ изготовления электрических контактов: пат. 2380781 С1 Рос. Федерация № 2008139279/09; заявл.

03.10.2008; опублик. 27.01.2010 / В.С. Аркатов, В.В. Васин, Е.Н. Емельянов [и др.] ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "НТЦ Информационные Технологии".

3. Luo G., Li P., Hu J., Guo J., Sun Y. & Shen Q. (2022). Ag and C addition into Al–Cu matrix composites. *Journal of Materials Science*, (57), 11013–11025.

4. Sytshev A.E., Vadchenko S.G., Busurina M.L., Boyarchenko O.D. & Karpov A.V. (2022). High-Temperature Interaction between Carbon Fibers and Cu–Ag Eutectic Alloy. *International Journal of Self-Propagating High-Temperature Synthesis*, (31), 188–194.

5. Wang J., Hu D., Zhu Y. and Guo P. (2022). Electrical Properties of In Situ Synthesized Ag-Graphene/Ni Composites. *Materials*, (15(18)), 6423. <https://doi.org/10.3390/ma15186423>.

6. Songsong Li, Hao Yu., Chen X., Andrew A., Gewirth Jeffrey, S. Moore and Charles M., Schroede. (2020). Covalent Ag–C Bonding Contacts from Unprotected Terminal Acetylenes for Molecular Junctions. *Nano Letters*, (20, 7), 5490–5495.

7. Fernández S., Molinero A., Sanz D., González J.P., Cruz M., Gandía J.J. and Cárabe J. (2020). Graphene-Based Contacts for Optoelectronic Devices Micromachined. (11(10)), 919; <https://doi.org/10.3390/mi11100919>.

8. Romanov D.A., Pochetukha V.V., Sosniin K.V., Moskovskii S.V., Gromov V.E., Bataev V.A., Ivanov Yu.F., Semin A.P. (2022). Increase in properties of copper electrical contacts in formation of composite coatings based on Ni–C–Ag–N system *Journal of Materials Research and Technology*. (19), 947–966.

9. Gaurav A.K., Chang Y., Wojciech T. Osowiecki, Moreno-Hernandez I.A., Ledendecker M. and Alivisatos A.P. (2020). Self-Limiting Shell Formation in Cu@Ag Core–Shell Nanocrystals during Galvanic Replacement. Cite this: *J. Phys. Chem. Lett.* (11, 13), 5318–5323. DOI : 10.1021/acs.jpcclett.0c01551.

10. ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СТРУКТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОСПЛАВАХ Cu–Ag / Н.И. Непша [и др.] // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. 2022. Вып. 14, 211–226.

11. Mousavi Z., Pourabdoli M. (2022). Physical and chemical properties of Ag–Cu composite electrical contacts prepared by cold-press and sintering of silver-coated copper powder. *Materials Chemistry and Physics*. (290), 126608.

12. Aikun L., Ming X., Yang Y., Zhang J., Wang S., Chen Y., Zhou W. (2022). Effect of CNTs content on the mechanical and arc-erosion performance of Ag–CNTs composites. *Diamond and Related Materials Volume* (128), 109211.

13. Yakout M., Elbestawi M., Veldhuis S.C. (2018). A Review of Metal Additive Manufacturing Technologies. *Diffusion and Defect Data Pt.B: Solid State Phenomena* (278), 1–14, DOI : 10.4028/www.scientific.net/SSP.278.1.

14. Ivanov Yu.F., Koval N.N., Akhmadeev Yu.H., Uglov V.V., Shugurov V.V., Petrikova E.A., Krysinina O.V., Prokopenko N.A. & Azhazha I.I. (2022). Structure and Properties of Multi-Layer Films of High-Entropy Metals Deposited by the Ion-Plasma Method. *Russian Physics Journal* (64), 2207–2213.

15. Комаров Д.В., Коновалов С.В., Жуков Д.В., Виноградов И.С., Панченко И.А. (2022). Анализ совре-

менной ситуации в области применения электронно-лучевой обработки различных сплавов. Часть 2, *Ползуновский вестник*, (3), 204–215. doi : 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.028.

16. Chen S., Wang J., Yuan Z., Wang Z., Du D. (2021). Microstructure and arc erosion behaviors of Ag–CuO contact material prepared by selective laser melting. *Journal of Alloys and Compounds* (860), 158494, doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.158494.

17. Based Electrical Contact Material Under Direct Current Hangyu Li, Xianhui Wang, Zhudong Hu & Yanfeng Liu *Journal of Electronic Materials* volume 49. P. 4730–4740. (2020).

18. Dynamics Evolution and Mechanical Properties of the Erosion Process of Ag–CuO Contact Materials MA Minjing, QU Yinhu, WANG Zhe, WANG Jun, DU Dan. *Acta Metall Sin* 2022, Vol. 58 Issue (10): 1305–1315. DOI : 10.11900/0412.1961.2021.00498.

19. Шухардин С.В. Двойные и многокомпонентные системы на основе меди. Москва : Наука, 1979. 248 с.

20. Лякишев Н.П. Диаграммы состояния двойных металлических систем. Москва : Машиностроение, 1996–2000. 448 с.

Информация об авторах

Д. А. Романов – доктор технических наук, доцент, заведующий научной лабораторией электровзрывного напыления высоконадежных покрытий Сибирского государственного индустриального университета.

С. В. Московский – кандидат технических наук, старший научный сотрудник научной лаборатории электровзрывного напыления высоконадежных покрытий Сибирского государственного индустриального университета.

В. В. Почетуха – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Транспорта и логистики» Сибирского государственного индустриального университета.

Е. С. Ващук – кандидат технических наук, доцент кафедры «Естественно-научных дисциплин» Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева, филиал в городе Прокопьевске.

Ю. Ф. Иванов – доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник «Лаборатории плазменной эмиссионной электроники» Института сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭ СО РАН).

REFERENCES

1. Pochetukha, V.V., Romanov, D.A., Gromov, V.E., Filyakov, A.D. (2023). Formation of the structure and properties of electro-explosive electro-erosion-resistant coatings on copper contacts of switches of powerful electrical networks: monograph. Novokuznetsk : Polygraphist LLC, 2023. 257 p. (In Russ.).

2. Arkatov, V.S., Vasin, V.V., Emelyanov, E.N., Konakov, A.V., Fadeev, V.S., Shtanov, Yu.L., Shtanov, O.V. and Nikonov, A.V., Mikushkin, S.N., Minakov, V.S. (2008). Material for electrical contacts and a method for manufacturing electrical contacts: Pat. 2380781 C1 Ros. Federation No.

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 4 2023

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СИСТЕМЫ «ПОКРЫТИЕ (AG-C)/(МЕДЬ) ПОДЛОЖКА», ОБЛУЧЕННОЙ ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

2008139279/09; publ. 01/27/2010; applicant Limited Liability Company "NTC Information Technologies" (In Russ.).

3. Luo, G., Li, P., Hu, J., Guo, J., Sun, Y. & Shen, Q. (2022). Ag and C addition into Al-Cu matrix composites. *Journal of Materials Science*, (57), 11013-11025.

4. Sytshev, A.E. Vadchenko, S.G. Busurina, M.L., Boyarchenko, O.D. & Karpov, A.V. (2022). High-Temperature Interaction between Carbon Fibers and Cu-Ag Eutectic Alloy. *International Journal of Self-Propagating High-Temperature Synthesis*, (31), 188-194.

5. Wang, J., Hu, D., Zhu, Y. and Guo, P. (2022). Electrical Properties of In Situ Synthesized Ag-Graphene/Ni Composites. *Materials*, (15(18)), 6423, <https://doi.org/10.3390/ma15186423>.

6. Songsong, Li, Hao, Yu., Chen, X., Andrew, A., Gewirth, Jeffrey, S. Moore and Charles, M., Schroede. (2020). Covalent Ag-C Bonding Contacts from Unprotected Terminal Acetylenes for Molecular Junctions. *Nano Letters*, (20, 7), 5490-5495.

7. Fernández, S., Molinero, A., Sanz, D., González, J.P., Cruz, M., Gandía, J.J. and Cárabe, J. (2020). Graphene-Based Contacts for Optoelectronic Devices Micromachine, (11(10)), 919; <https://doi.org/10.3390/mi11100919>.

8. Romanov, D.A., Pochetukha, V.V., Sosnin, K.V., Moskovskii, S.V., Gromov, V.E., Bataev, V.A., Ivanov, Yu.F., Semin, A.P. (2022). Increase in properties of copper electrical contacts in formation of composite coatings based on Ni-C-Ag-N system *Journal of Materials Research and Technology*. (19), 947-966.

9. Gaurav, A.K., Chang, Y., Wojciech, T. Osowiecki, Moreno-Hernandez, I.A., Ledendecker, M. and Alivisatos A.P. (2020). Self-Limiting Shell Formation in Cu@Ag Core-Shell Nanocrystals during Galvanic Replacement. Cite this: *J. Phys. Chem. Lett.* (11, 13), 5318-5323. DOI : 10.1021/acs.jpcclett.0c01551.

10. Nepsha, N.I., Veselov, A.D., Savina, K.G., Bogdanov, S.S., Kolosov, A.Yu., Myasnichenko, V.S., Sdobnyakov, N.Yu. (2022). VARIABILITY OF STRUCTURAL TRANSFORMATIONS IN Cu-Ag BIMETALLIC NANOALLOYS. Physicochemical aspects of the study of clusters, nanostructures and nanomaterials, (14), 211-226. (In Russ.).

11. Mousavi, Z., Pourabdoli, M. (2022). Physical and chemical properties of Ag-Cu composite electrical contacts prepared by cold-press and sintering of silver-coated copper powder. *Materials Chemistry and Physics*. (290), 126608.

12. Aikun, L., Ming, X., Yang, Y., Zhang, J., Wang, S., Chen, Y., Zhou, W. (2022). Effect of CNTs content on the mechanical and arc-erosion performance of Ag-CNT composites. *Diamond and Related Materials* Volume (128), 109211.

13. Yakout, M., Elbestawi, M., Veldhuis, S.C., (2018). A Review of Metal Additive Manufacturing

Technologies. *Diffusion and Defect Data Pt.B: Solid State Phenomena* (278), 1-14, DOI : 10.4028/www.scientific.net/SSP.278.1.

14. Ivanov, Yu.F., Koval, N.N., Akhmadev, Yu.H., Uglov, V.V., Shugurov, V.V., Petrikova, E.A., Krysina, O.V., Prokopenko, N.A. & Azhazha, I.I. (2022). Structure and Properties of Multi-Layer Films of High-Entropy Metals Deposited by the Ion-Plasma Method. *Russian Physics Journal* (64), 2207-2213.

15. Komarov, D.V., Kononov, S.V., Zhukov, D.V., Vinogradov, I.S., Panchenko, I.A. (2022). Analysis of the current situation in the field of application of electron-beam processing of various alloys. Part 2, *Polzunovskiy Bulletin*, (3), 204-215. doi : 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.03.028.

16. Chen, S., Wang, J., Yuan, Z., Wang, Z., Du, D. (2021). Microstructure and arc erosion behaviors of Ag-CuO contact material prepared by selective laser melting. *Journal of Alloys and Compounds* (860), 158494, doi : org/10.1016/j.jallcom.2020.158494.

17. Based Electrical Contact Material Under Direct Current Hangyu Li, Xianhui Wang, Zhudong Hu & Yanfeng Liu. *Journal of Electronic Materials* volume 49, P. 4730-4740. (2020).

18. Dynamics Evolution and Mechanical Properties of the Erosion Process of Ag-CuO Contact Materials MA Minjing, QU Yinhu, WANG Zhe, WANG Jun, DU Dan. *Acta Metall Sin* 2022, Vol. 58 Issue (10): 1305-1315. DOI : 10.11900/0412.1961.2021.00498.

19. Shukhardin, S.V. (1979). Binary and multi-component systems based on copper. Moscow : Nauka, 248 p.

20. Lyakishev, N.P. (1996-2000). Diagrams of the state of binary metallic systems. Moscow : Mashinostroenie, 448 p.

Information about the authors

D. A. Romanov - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Scientific Laboratory of Electroexplosive Spraying of Highly Reliable Coatings, Siberian State Industrial University.

S. V. Moskovsky - Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the Scientific Laboratory of Electroexplosive Spraying of Highly Reliable Coatings, Siberian State Industrial University.

V. V. Pochetuha - Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Transport and Logistics, Siberian State Industrial University.

E. S. Vashchuk - Candidate of Technical Sciences, associate Professor of the Department of "Natural Science Disciplines" T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Prokopyevsk branch.

Yu. F. Ivanov - Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Chief Researcher of the "Laboratory of Plasma Emission Electronics" of the Institute of High Current Electronics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ISE SB RAS).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 26 марта 2023; одобрена после рецензирования 18 сентября 2023; принята к публикации 20 ноября 2023.

The article was received by the editorial board on 26 Mar 2023; approved after editing on 18 Sep 2023; accepted for publication on 20 Nov 2023.



Научная статья

2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов (технические науки)

УДК 549:54.055

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.023



ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ В АВИАЛЯХ С ИЗБЫТКОМ КРЕМНИЯ И ДОБАВКАМИ СКАНДИЯ И ЦИРКОНИЯ

Евгений Владимирович Арышенский¹,
Максим Александрович Лапшов², Дмитрий Юрьевич Распоиенко³,
Сергей Валерьевич Коновалов⁴,
Кирилл Александрович Малкин⁵, Владимир Викторович Макаров⁶,

^{1, 4} Сибирский государственный индустриальный университет, Кирова, 42, 654007, Новокузнецк, Россия

^{1, 2, 4, 5, 6} Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Московское шоссе, 34, 443086, Самара, Россия

^{3, 6} Институт физики металлов УрО РАН, С. Ковалевской, 18, 620990 Екатеринбург, Россия

¹ arishenskiy_ev@sibsiu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3875-7749>

² lapshov.m.syz@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1306-4578>

³ dmitrijrasp@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7670-9054>

⁴ konovalov@sibsiu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4809-8660>

⁵ malkin.ka@ssau.ru, <https://orcid.org/0009-0001-6047-8191>

⁶ makarov@imp.uran.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7306-3657>

Аннотация. В работе исследовано влияние многоступенчатой термической обработки на формирование микроструктуры в сплавах системы Al-Mg-Si с избытком кремния и добавками скандия и циркония. Для изучения был выбран сплав $0,6Mg1Si0,15Zr0,3Sc$ и его базовый вариант $0,6Mg1Si$. Сплав $0,6Mg1Si0,15Zr0,3Sc$ был подвергнут трёхступенчатой термической обработке. Её целью было выделить частицы Al_3ScZr из пересыщенного твёрдого раствора, затем растворить кремниевые интерметаллиды, после чего в ходе искусственного старения выделить частицы β ". Базовый сплав $0,6Mg1Si$ был подвергнут стандартной для авиалей обработке, состоящей из двух ступеней. Целью первой было растворение кремниевых интерметаллидов, а второй – выделение β ". После каждого шага термической обработки методами просвечивающей и сканирующей микроскопии исследовалась микроструктура, а также проводились измерения микротвёрдости. Анализ результатов показал, что при кристаллизации сплава $0,6Mg1Si0,15Zr0,3Sc$ в нём образуются первичные интерметаллиды типа $(AlSi)_3Sc$ с размерами до 10 мкм. Кроме того, в ходе прерывистого распада при остывании литой заготовки также формируются частицы $(AlSi)_3Sc$, представленные в виде излобразных когерентных дисперсоидов длиной 40 нм и диаметром 10 нм. На первом этапе термической обработки формируется лишь ограниченное число когерентных дисперсоидов $(AlSi)_3Sc$, практически не влияющих на изменение прочностных свойств. Последующая кратковременная закалка не приводит к растворению интерметаллидов, содержащих кремний и скандий. Поэтому при искусственном старении сплава $0,6Mg1Si0,15Zr0,3Sc$ выделяется меньше частиц β ", чем в сплаве $0,6Mg1Si$, в котором имеет место большее пересыщение твёрдого раствора алюминия атомами кремния.

Ключевые слова: алюминий, авиали, скандий, наночастицы, термическая обработка, просвечивающая микроскопия.

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-19-00548, <https://rscf.ru/project/21-19-00548/>.

Для цитирования: Исследование влияния многоступенчатой термической обработки на формирование микроструктуры в авиалах с избытком кремния и добавками скандия и циркония / Е. В. Арышенский [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 4, С. 178–190. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.023. EDN: <https://elibrary.ru/DJVTMS>.

Original article

INVESTIGATION OF MULTISTAGE THERMAL TREATMENT EFFECT ON MICROSTRUCTURE FORMATION IN SILICON-RICH AVIAL WITH SCANDIUM AND ZIRCONIUM ADDITIONS

Evgenii V. Aryshenskii ¹, Maksim A. Lapshov ², Dmitriy Yu. Rasposienko ³,
Sergei V. Konovalov ⁴, Kirill A. Malkin ⁵, Vladimir V. Makarov ⁶

^{1, 4} Siberian State Industrial University, Kirova str., 42, 654007, Novokuzneck, Russia

^{1, 2, 4, 5, 6} Samara National Research University, Moskovskoe shosse, 34, 443086, Samara, Russia

^{3, 6} Institute of Metal Physics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, S. Kovalevskaya str., 18, 620990 Ekaterinburg, Russia

¹ arishenskiy_ev@sibsiu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3875-7749>

² lapshov.m.syz@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1306-4578>

³ dmitrijrask@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7670-9054>

⁴ konovalov@sibsiu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4809-8660>

⁵ malkin.ka@ssau.ru, <https://orcid.org/0009-0001-6047-8191>

⁶ makarov@imp.uran.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7306-3657>

Abstract. The study addresses the effect of multistage thermal treatment on microstructure formation in silicon-rich Al-Mg-Si system alloys with scandium and zirconium additions. The study focuses on 0.6Mg1Si0.15Zr0.3Sc alloy and its base version 0.6Mg1Si. 0.6Mg1Si0.15Zr0.3Sc has been subjected to three-stage thermal treatment. It aimed at precipitating Al3ScZr particles from super-saturated solid solution, silicon-magnesium intermetallic compounds dissolution and β'' particles precipitation during artificial aging. 0.6Mg1Si base alloy was subjected to the typical for avials treatment, including two stages. The purpose of the first stage was silicon-containing intermetallic compounds dissolution, while the second stage aimed at β'' precipitation. After each thermal treatment stage the microstructure was examined by transmission and scanning microscopy, and microhardness was measured. Results analysis demonstrated up to 10 μ m (AlSi)3Sc-type intermetallic compounds formation during 0.6Mg1Si0.15Zr0.3Sc alloy crystallization. Besides, (AlSi)3Sc particles, represented by 40 nm long and 10 nm diameter needle-shaped coherent dispersoids, form during discontinuous decomposition in the process of as-cast workpiece cooling down. Limited amount of (AlSi)3Sc coherent dispersoids, having no significant effect on strength properties change, forms during the first stage of thermal treatment. Further short-term hardening does not result in silicon and scandium containing intermetallic compounds dissolution. Therefore, during artificial aging less β'' particles precipitate in 0.6Mg1Si0.15Zr0.3Sc alloy, compared to 0.6Mg1Si, having higher level of aluminum solid solution super-saturation with silicon atoms.

Keywords: aluminum, avial, scandium, nano-particles, thermal treatment, transmission microscopy.

Acknowledgements: The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation № 21-19-00548, <https://rscf.ru/project/21-19-00548/>.

For citation: Aryshenskii, E. V., Lapshov, M. A., Rasposienko, D. Yu., Konovalov, S. V., Malkin, K. A. & Makarov, V. V. (2023). Investigation of multistage thermal treatment effect on microstructure formation in silicon-rich Avial with scandium and zirconium additions. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 178-190. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.023. EDN: <https://elibrary.ru/DJVTMS>.

ВВЕДЕНИЕ

Алюминиевые сплавы широко используются в современной промышленности благодаря высокому уровню механических и экс-

плуатационных свойств [1–3]. Одной из наиболее популярных в промышленности систем алюминиевых сплавов является система Al-Mg-Si, которая в отечественной

классификации называется авиалами [4], а в зарубежной литературе – бххх серией [5]. Эти сплавы, как правило, обладают хорошей коррозионной стойкостью, высокой пластичностью, свариваемостью и прочностью [4, 6]. Основной причиной высоких прочностных свойств сплавов системы Al-Mg-Si является выделение упрочняющей метастабильной фазы β'' (Mg_5Si_6) [7, 8]. При температурах нагрева выше 250 °С она превращается в крупную равновесную Mg_2Si , наличие которой не ведет к росту прочностных свойств [9]. При соотношении $Mg/Si < 1,73$ и условиях, близких к равновесным, данные элементы полностью реагируют друг с другом, образуя фазу Mg_2Si [10]. Избыток Si оказывает положительное влияние на механические характеристики сплава, а также снижает время проведения искусственного старения и способствует более быстрому формированию фазы β'' [9].

Дополнительное повышение эксплуатационных и прочностных свойств как алюминиевых сплавов в целом, так и авиалам в частности, может быть достигнуто за счет использования малых скандиевых добавок. Введение скандия способствует формированию упрочняющих наночастиц, частиц Al_3Sc , а также модификации литой структуры [11]. Кроме того, для повышения модифицирующей способности Sc и термостабилизации Al_3Sc вместе с ним часто добавляют цирконий [12].

Однако легирование сплавов системы Al-Mg-Si скандием затруднено из-за того, что кремний и скандий склонны к образованию не упрочняющей τ -фазы ($AlSc_2Si_2$) [13]. При увеличении избытка кремния вероятность образования фазы $AlSc_2Si_2$ возрастает. Тем не менее, упрочняющие частицы типа Al_3Sc или близкие к ним $(AlSi)_3Sc$ обнаруживали даже в сплавах с большим избытком кремния [14–17]. Например, когерентные частицы типа $(AlSi)_3ScZr$ были обнаружены в сплавах с соотношением $Mg/Si = 0,3$ в литом состоянии [17]. Это говорит о возможности получения данных частиц при последующей термической обработке. В то же время такая термическая обработка согласно [18] должна включать в себя

несколько ступеней: отжиг при температурах 350–450 °С с целью получения частиц $(AlSi)_3ScZr$, закалку с выдержкой 30 мин при температуре 550 °С для растворения первичных и выделившихся на предыдущей ступени частиц Mg_2Si в твердый раствор, искусственное старение с целью выделения упрочняющей фазы β'' (Mg_5Si_6). В настоящее время не существует исследований, направленных на получение двойного упрочняющего эффекта от частиц β'' (Mg_5Si_6) и $(AlSi)_3Sc$ с помощью многоступенчатой термической обработки в сплавах системы Al-Mg-Si с сильным избытком кремния. Поэтому целью данной работы является изучение этого вопроса.

МЕТОДЫ

Многоступенчатая термическая обработка

Для того чтобы изучить влияние соотношения Mg/Si на формирование микроструктуры и механических свойств, были отлиты слитки из сплавов $0,6Mg1Si0,15Zr0,3Sc$, $0,6Mg1Si$. Литье осуществляли в стальной кокиль для обеспечения приближенной к реальной промышленной технологии скорости кристаллизации и охлаждения литой структуры [19]. Масса отлитых слитков составила 4,5 кг. В качестве шихты для сплава использовались следующие материалы: алюминий марки А85, магний марки МГ90, лигатура $Al12Si$, лигатуры Al-Sc2 и Al-Zr5. Температура литья составляла 720–740 °С. Перед заливкой расплавленного металла в изложницу его рафинировали карналлитовым флюсом, добавляемым из расчета 5 г на 1 кг шихты. После этого с поверхности расплавленного металла удаляли окислы и разливали металл в стальную форму с равномерным временем разлива 40 с.

Термическая обработка проводилась по режимам, представленным в таблице 1. Образцы отжигались в муфельной электропечи с закалкой в воду, для каждой ступени термической обработки определялась микротвердость, а с целью изучения количества и размеров интерметаллидных частиц проводились просвечивающая и сканирующая микроскопия.

Таблица 1 – Схема термической обработки сплавов $0,6Mg1Si0,15Zr0,3Sc$ и $0,6Mg1Si$.

Table 1 – Scheme of heat treatment of alloys $0,6Mg1Si0,15Zr0,3Sc$ and $0,6Mg1Si$.

Сплав	Термическая обработка
0,6Mg1Si0,3Sc0,15Zr	Литое состояние
	440 °С 8 ч
	440 °С 8 ч + 500 °С 0,5 ч
	440 °С 8 ч + 500 °С 0,5 ч + 180 °С 5 ч
0,6Mg1Si	550 °С 8 ч + 180 °С 5 ч

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ В АВИАЛЯХ С ИЗБЫТКОМ КРЕМНИЯ И ДОБАВКАМИ СКАНДИЯ И ЦИРКОНИЯ

Испытания на микротвердость проводились на цифровом стационарном твердомере по методу Микро-Виккерса на модели HV-1000 (испытательное усилие 0,2452 Н). Для исключения влияния границ зерен и крупных интерметаллидов измерения проводились в теле зерна.

С целью определения размера и химического состава крупных интерметаллических соединений ($r > 1$ мкм) микроструктуру изучали с помощью сканирующей электронной микроскопии. Методика подготовки образцов состояла из механической шлифовки, полировки и электрополировки. Электрополировку проводили при температуре 85–110 °С и напряжении 10–30 В в электролите следующего состава: 500 мл H_3PO_4 ; 300 мл H_2SO_4 ; 50 г CrO_3 ; 50 мл H_2O .

С целью изучения тонкой микроструктуры проводились исследования методом электронной просвечивающей микроскопии на микроскопе высокого разрешения Теспаі G2 30 Twin, оснащенный системой энергодисперсионного рентгеноанализа EDAX, при ускоряющем напряжении 300 кВ с использованием стандартных методик: светлопольных, темнопольных изображений и электронной микродифракции. Линейные размеры элементов структуры определялись прямыми измерениями в плоскости наблюдения.

Таблица 2 – Химический состав частиц в литом состоянии

Table 2 – The chemical composition of the particles in the cast state

Частица	Химический элемент, атом %					
	Al	Si	Sc	Fe	Mg	Zr
(AlSi) ₃ Sc	45,15	29,68	20,31	–	3,82	1.04
Mg ₂ Si	73,58	14,68	1,38	2,31	7,87	–
Fe ₂ Mg ₇ Si ₁₀ Al ₁₈	74.06	13.47	1.77	2.28	8,43	–

В литом состоянии в сплаве 0,6Mg1Si0,3Sc0,15Zr (рисунок 1) наблюдаются крупные труднорастворимые железо и кремнийсодержащие интерметаллиды, которые, основываясь на EDS анализе (таблица 2), можно отнести к Fe₂Mg₇Si₁₀Al₁₈ [20]. Как правило, они имеют шарообразную форму и размеры до 10 мкм. Обнаруженные частицы второго типа содержат скандий, цирконий и кремний. Они имеют прямоугольную форму и размеры порядка 10 мкм. По всей видимости, они представляют собой первичные интерметаллиды типа (AlSi)₃Sc [21]; наличие в них кремния можно объяснить тем, что он скло-

не реагировать со скандием, а циркония – тем, что до 35 % его может растворяться в данной фазе [22]. В то же время это может быть фаза типа $\tau(AlSc_2Si_2)$: об этом говорит практически равное содержание скандия и кремния, при незначительном содержании циркония, а также её морфология. Кроме того, наблюдаются интерметаллиды, близкие к $\beta(Mg_2Si)$ [23]. Учитывая ранее построенную в Thermo-Calc [17] фазовую диаграмму, при которой $\beta(Mg_2Si)$ начинают формироваться при температурах 450–500 °С, можно предположить их образование при остывании слитка после литья, а не в процессе кристаллизации.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Литое состояние

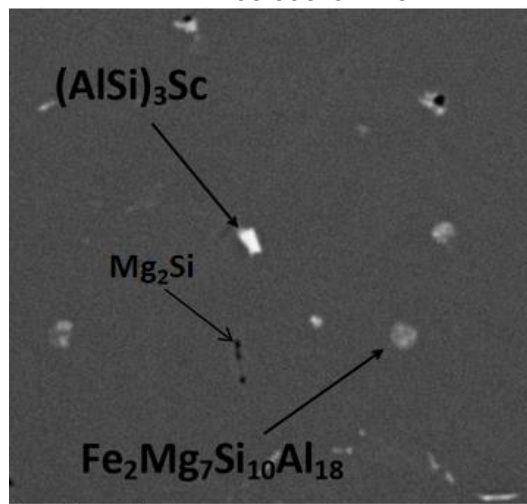


Рисунок 1 – Результаты электронной сканирующей микроскопии в литом состоянии для сплава 0,6Mg1Si0,3Sc0,15Zr

Figure 1 – Results of cast electron scanning microscopy for alloy 0.6Mg1Si0.3Sc 0.15Zr

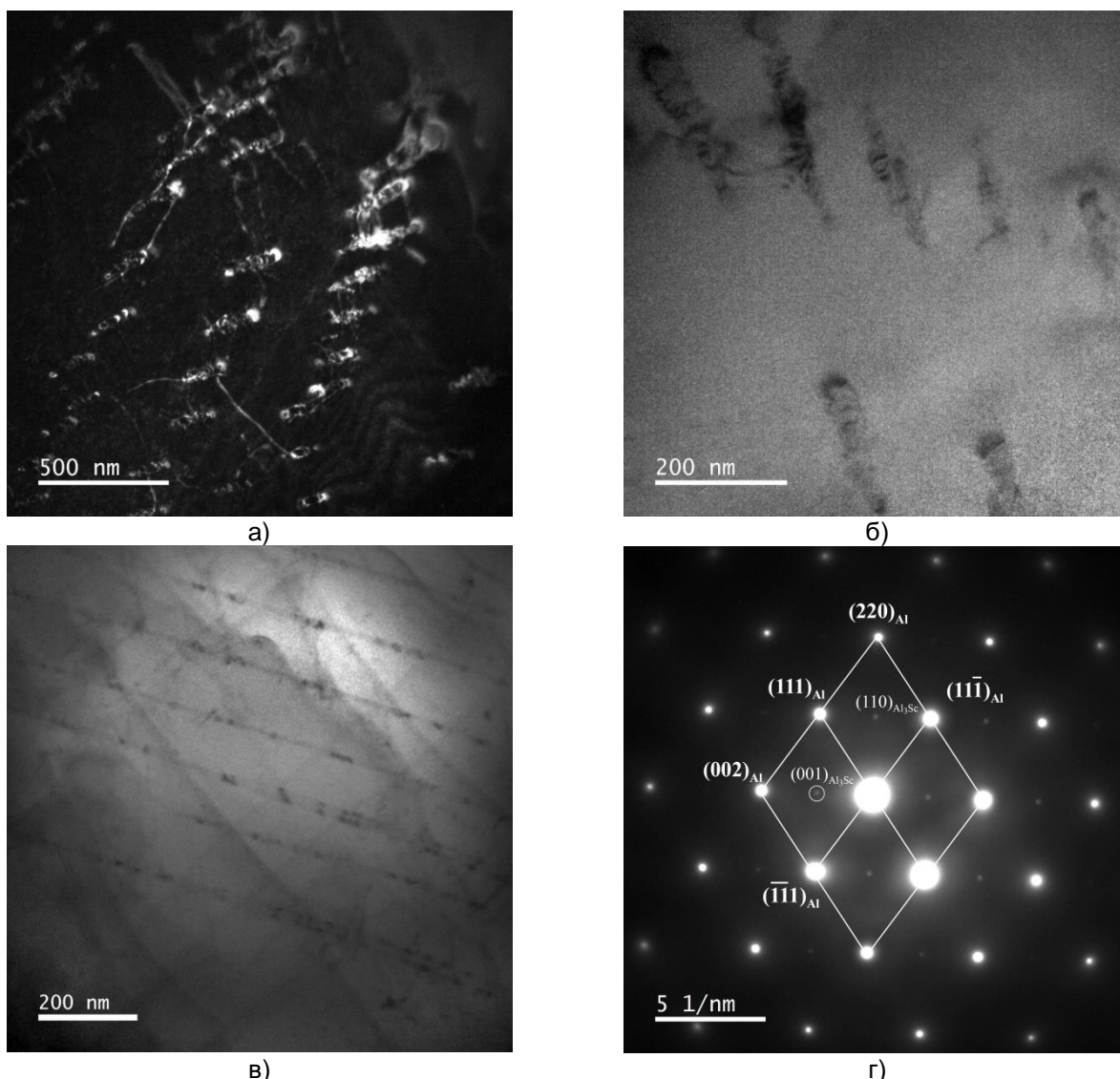


Рисунок 2 – Электронно-микроскопические изображения микроструктуры сплава 0,6Mg1Si0,3Sc0,15Zr в литом состоянии: а – темнопольное изображение в рефлексе $(110)_{Al_3Sc}$; б, в – светлопольные изображения; г – микроэлектронграмма (ось зоны $[110]_{Al}$)

Figure 2 – Electron microscopic images of the alloy microstructure 0,6Mg1Si0,3Sc0,15Zr in the cast state: а – dark-field image in the reflex $(110)_{Al_3Sc}$; б, в – light-field images; г – microelectronogram (zone axis $[110]_{Al}$)

В литом состоянии в сплаве 0,6Mg1Si0,3Sc0,15Zr наблюдаются частицы иглообразной формы с диаметром 20 нм и длиной 200 нм, представляющие собой фазу Al_3Sc , что подтверждается рефлексами на микроэлектронграммах (рисунок 2). По-видимому, дисперсоиды образовались в результате распада пересыщенного раствора алюминия в процессе охлаждения слитка после литья. Такие иглообразные частицы неоднократно наблюдались в алюминиевых сплавах с добавками скандия [22, 23]. Основная причина их образования – движение

большееугловых границ, в которых концентрируется большое количество данного элемента. В то же время полностью когерентных частиц, которые также могут образовываться при прерывистом распаде и, в частности, в сплавах с большим избытком кремния, обнаружено не было. Кроме того, были обнаружены очень тонкие пластины Si длиной более 1 мкм (рисунок 2, в). Наличие частиц свободного кремния предсказывается в данных сплавах в фазовых диаграммах, полученных с помощью расчетов в Thermo-Calc [17].

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
НА ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ В АВИАЛЯХ С ИЗБЫТКОМ КРЕМНИЯ И ДОБАВКАМИ
СКАНДИЯ И ЦИРКОНИЯ**

Таблица 3 – Химический состав частиц после термообработки 440 °С

Table 3 – Chemical composition of particles after heat treatment 440°C

Частицы	Химический элемент, атом %						
	Al	Si	Fe	Mg	Zr	Sc	Mn
(AlSi) ₃ Sc	70,13	16,55	0,02	2,23	2,95	8,52	–
Mg ₂ Si	74,89	19,18	2,05	3,75	-	0,12	–
Fe ₂ Mg ₇ Si ₁₀ Al ₁₈	59,50	21,29	4,88	13,75	0,02	0,57	0,03

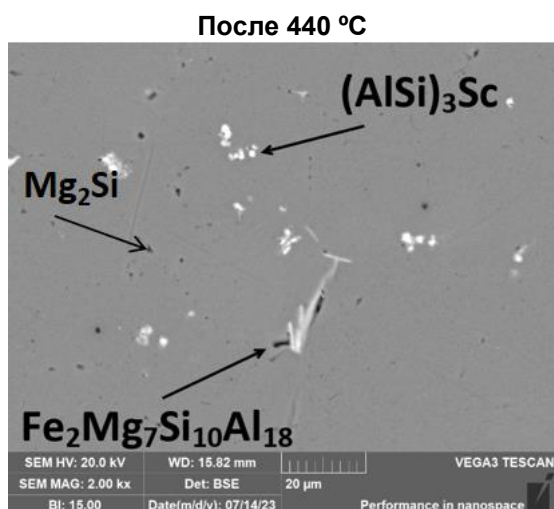


Рисунок 3 – Результаты электронной сканирующей микроскопии после отжига 440 °С 8 ч сплава 0,6Mg1Si0,3Sc0,15Zr

Figure 3 – Results of electron scanning microscopy after annealing 440°C 8 h alloy 0,6Mg1Si0,3Sc 0.15Zr

Отжиг при 440 °С не приводит к значительным изменениям фазового состава сплава. При данной термообработке также наблюдаются крупные интерметаллидные частицы фаз Fe₂Mg₇Si₁₀Al₁₈ и (AlSi)₃Sc. Выделения (AlSi)₃Sc сохраняют равноосную форму и размеры в диапазоне 2–10 мкм. В структуре сплава после отжига обнаружено 2 типа частиц Fe₂Mg₇Si₁₀Al₁₈: равноосной формы размерами 2–10 мкм и неправильной вытянутой формы длиной 25 мкм и толщиной до 5 мкм. Таким образом, на данной ступени термической обработки происходит их рост. Это, по всей видимости, вызвано выделением составляющих их элементов из пересыщенного твердого раствора. Кроме того, по

соседству с данными частицами также обнаружались интерметаллиды типа β (Mg₂Si), которые достаточно часто наблюдаются в алюминиевых сплавах, содержащих магний [24]. Необходимо также отметить, что доля частиц β (Mg₂Si) увеличивается. Химический состав частиц после термообработки 440 °С представлен в таблице 3.

Отжиг при температуре 440 °С с выдержкой 8 часов сплава 0,6Mg1Si0,3Sc0,15Zr приводит к распаду пересыщенного твердого раствора с образованием фаз: Al₃(Sc, Zr) (L12), Al₃Zr (D023) (рисунок 4). Фаза Al₃(Sc, Zr) выделяется в виде когерентных равноосных частиц диаметром до 15 нм, при этом они обладают достаточно высокой дисперсностью. Выделения Al₃Zr (D023) также характеризуются равноосной формой диаметром до 90 нм (рисунок 4, а, б). Выделения обеих фаз характеризуются высокой объемной долей и плотностью распределения. Учитывая, что частицы данной морфологии не наблюдаются в литом состоянии, можно с уверенностью констатировать, что они образуются на данной ступени термической обработки. Принимая во внимание размеры, морфологию и рефлекссы на микроэлектроннограммах, соответствующие отражениям от кристаллической решетки L12, можно с высокой уверенностью утверждать, что это именно частицы Al₃(ScZr), а не AlSc₂Si₂. Кроме того, обнаружены частицы типа стержней длиной до 40 нм и диаметром около 10 нм (рисунок 4, в). Наиболее вероятно, что данные частицы относятся к Al₃Sc, образовавшимся в ходе прерывистого распада, на этапе остывания слитка.

Химический состав частиц после термообработки 440 °С + 500 °С представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Химический состав частиц после 440 °С + 500 °С

Table 4 – Chemical composition of particles after 440°C + 500°C

Частицы	Химический элемент, атом %					
	Al	Si	Fe	Mg	Zr	Sc
(AlSi) ₃ Sc	80,19	9,43	–	1,38	3,29	5,71
Mg ₂ Si	71,51	16,69	2,75	8,13	–	0,92
Al ₉ Fe ₂ Si ₂	72,31	1,61	15,80	1,15	–	0,12

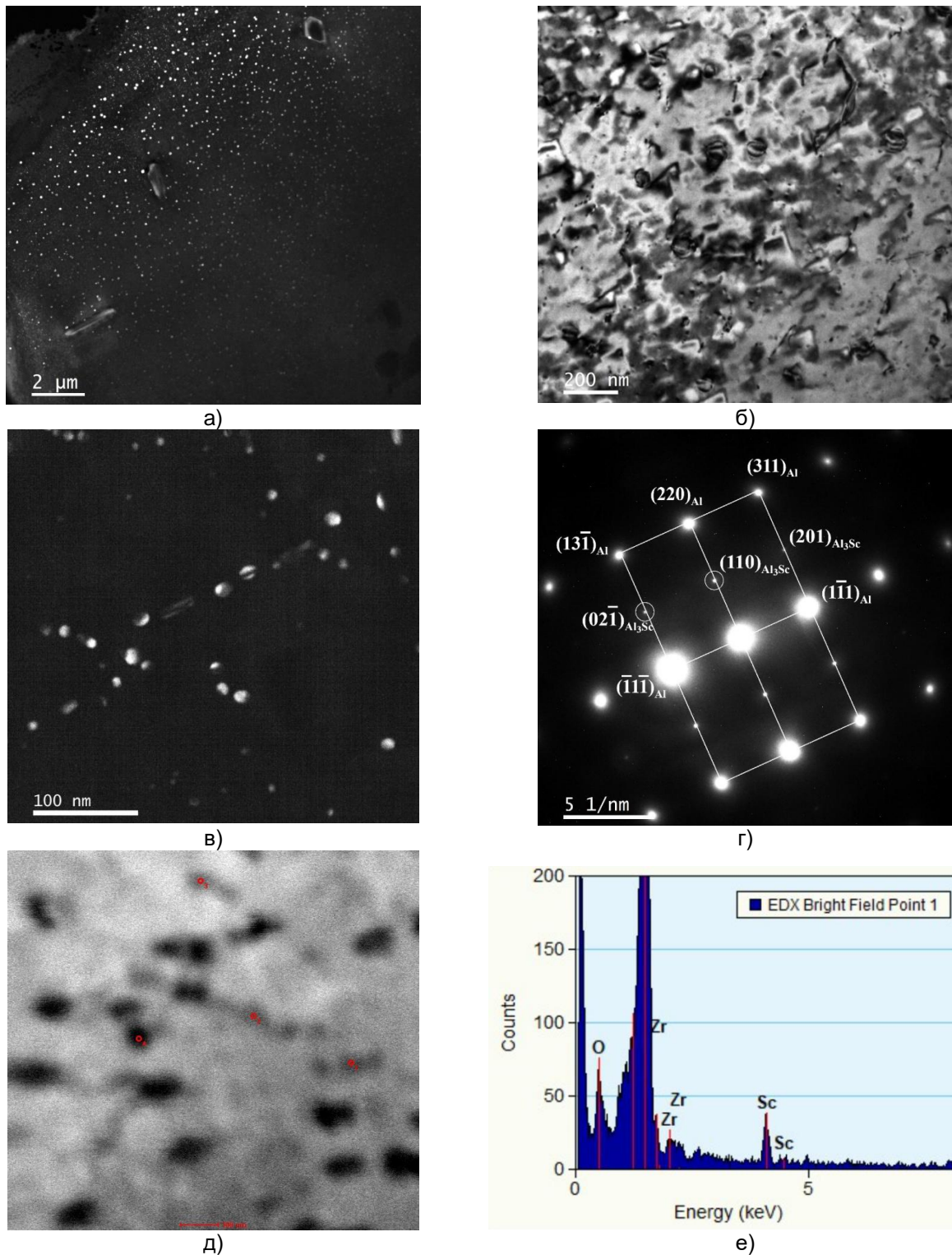


Рисунок 4 – Электронно-микроскопические изображения микроструктуры сплава 0,6Mg1Si0,3Sc0,15Zr после отжига 440 °С 8 ч: а, в – темнопольное изображение в рефлекс $(110)_{Al_3Sc}$; б – светлопольное изображение; в – микроэлектроннограмма (ось зоны $[1\bar{1}2]_{Al}$); д – светлопольное изображение в режиме сканирования на просвет (STEM); е – спектр характеристического излучения в точке 1 на рисунке д

Figure 4 – Electron microscopic images of the alloy microstructure 0,6Mg1Si0,3Sc0,15Zr after annealing 440°C 8 h: а, с – dark-field image in reflex $(110)_{Al_3Sc}$; б – light-field image; д – microelectronogram (zone axis $[1\bar{1}2]_{Al}$); д – light-field image in the lumen scanning mode (STEM); е – spectrum of characteristic radiation at point 1 in Figure d

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ В АВИАЛЯХ С ИЗБЫТКОМ КРЕМНИЯ И ДОБАВКАМИ СКАНДИЯ И ЦИРКОНИЯ

После 440 °С + 500 °С

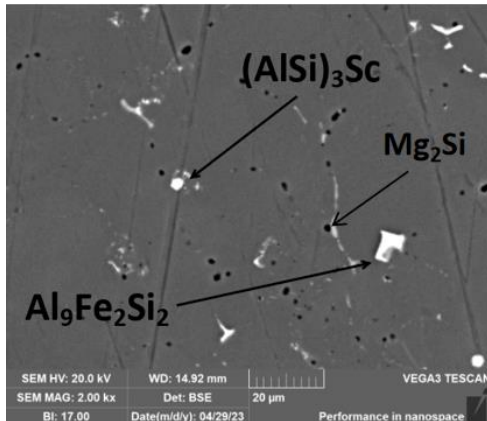


Рисунок 5 – Результаты электронной сканирующей микроскопии после ТО 440 °С + 500 °С для сплава 0,6Mg1Si0,3Sc0,15Zr

Figure 5 – Results of electron scanning microscopy after TO 440°C + 500°C for alloy 0,6Mg1Si0,3Sc 0.15 Zr

В сплаве 0,6Mg1Si0,3Sc0,15Zr после двойного отжига 440 °С + 500 °С наблюдаются частицы, которые на основании EDS анализа и литературных данных можно отнести к $Al_9Fe_2Si_2$ [25]. Данные частицы имеют округлую и прямоугольную форму, с размерами около 15 мкм (рисунок 5, б, в). Стоит предположить, что данные интерметаллиды представляют собой наблюдавшиеся ранее частицы $Fe_2Mg_7Si_{10}Al_{18}$, в которых произошло растворение магния в пересыщенный твердый раствор.

Наблюдаются также частицы типа Mg_2Si , которые уже были обнаружены на предыдущих стадиях обработки. Кроме того, сохраняются первичные интерметаллиды типа $(AlSi)_3Sc$, которые практически не меняют свою форму и размеры.

После 440 °С + 500 °С + 180 °С

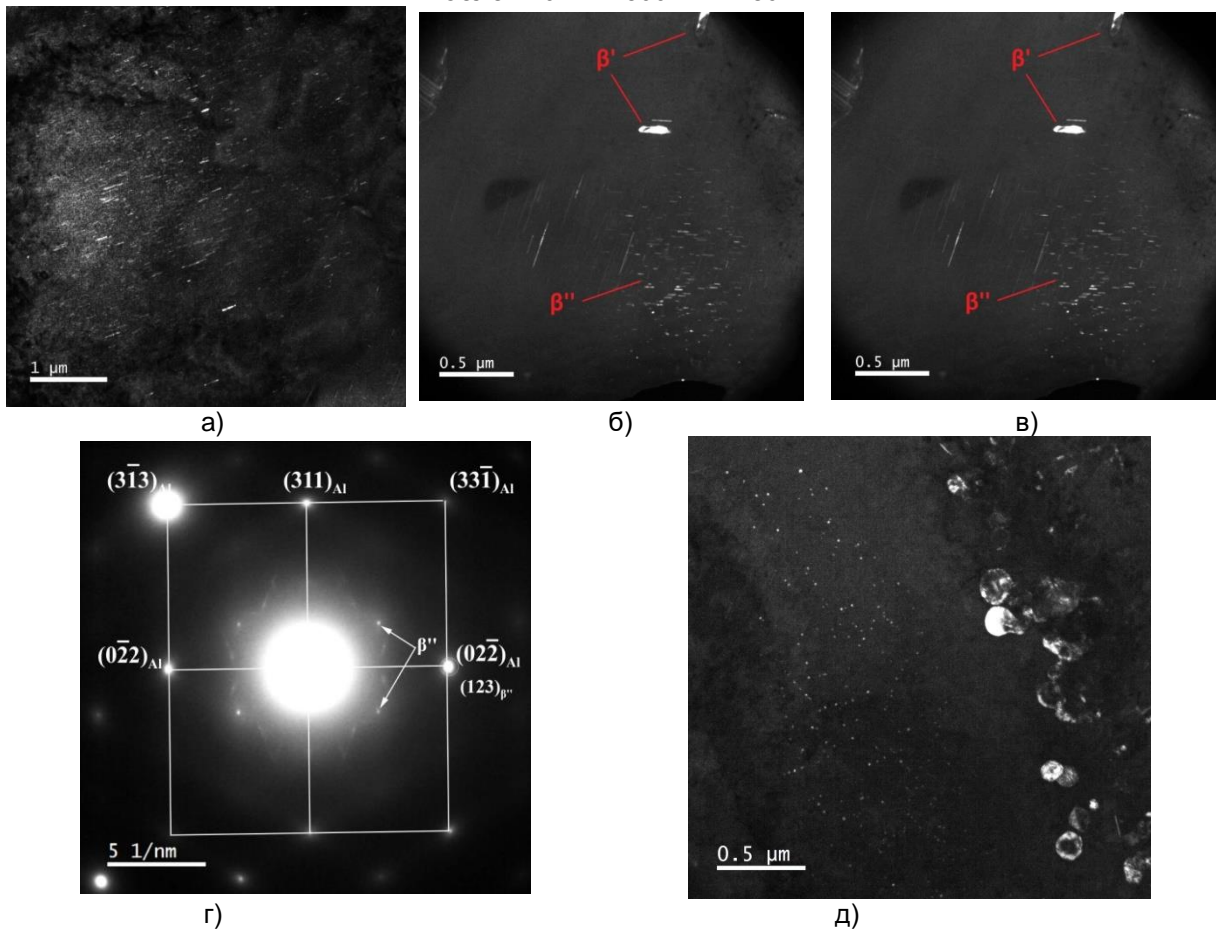


Рисунок 6 – Электронно-микроскопические изображения микроструктуры сплава 0,6Mg1Si0,3Sc0,15Zr после отжига по маршруту 440 °С 8 ч + 500 °С 0,5 ч + 180 °С 5 ч: а, б, д – темнопольные изображения в рефлекс: а – $(120)_{\beta''}$; б – $(200)_{\beta'}$; д – $(110)_{Al_3Sc}$; в – светлопольное изображение, е – микроэлектронграмма (ось зоны $[2\bar{3}3]_{Al}$)

Figure 6 – Electron microscopic images of the alloy microstructure 0,6Mg1Si0,3Sc0,15Zr after annealing along the route 440°C 8 h + 500°C 0.5 h + 180°C 5 h: a, b, d – dark-field images in reflex: a – $(120)_{\beta''}$; b – $(200)_{\beta'}$; d – $(110)_{Al_3Sc}$; c – light-field image, e – microelectronogram (zone axis $[2\bar{3}3]_{Al}$)

После термической обработки сплава $0,6\text{Mg}1\text{Si}0,3\text{Sc}0,15\text{Zr}$ по режиму $440\text{ }^\circ\text{C}$ 8 ч + $500\text{ }^\circ\text{C}$ 0,5 ч + $180\text{ }^\circ\text{C}$ 5 ч происходит распад пересыщенного твердого раствора. При этом в основном образуются метастабильные модификации фазы Mg_2Si (рисунок 6). Наибольшую дисперсность имеет β'' -фаза, выделяющаяся в виде тонких игл длиной до 50 нм (рисунок 6, а). Для выделений более стабильной β' -фазы характерно сохранение морфологии частиц в виде игл, но их размеры сильно возрастают: длина достигает 150 нм, в отдельных случаях 300 нм, диаметр – до 20 нм (рису-

нок 6, б). На фоне метастабильных β'' и β' выделений хорошо визуализируются частицы стабильной β -фазы в виде пластин длиной до нескольких микрон и толщиной до 50 нм (рисунок 6, в). Учитывая, что температуры искусственного старения недостаточно для образования данных частиц, с высокой долей вероятности можно предположить, что они образовались в ходе термической обработки $440\text{ }^\circ\text{C}$ 8 ч и пережили последующий отжиг при $500\text{ }^\circ\text{C}$ с выдержкой в течение 30 минут. Частицы $\text{Al}_3(\text{Sc}, \text{Zr})$ сохраняют равноосную форму и размеры до 150 нм (рисунок 6, д).

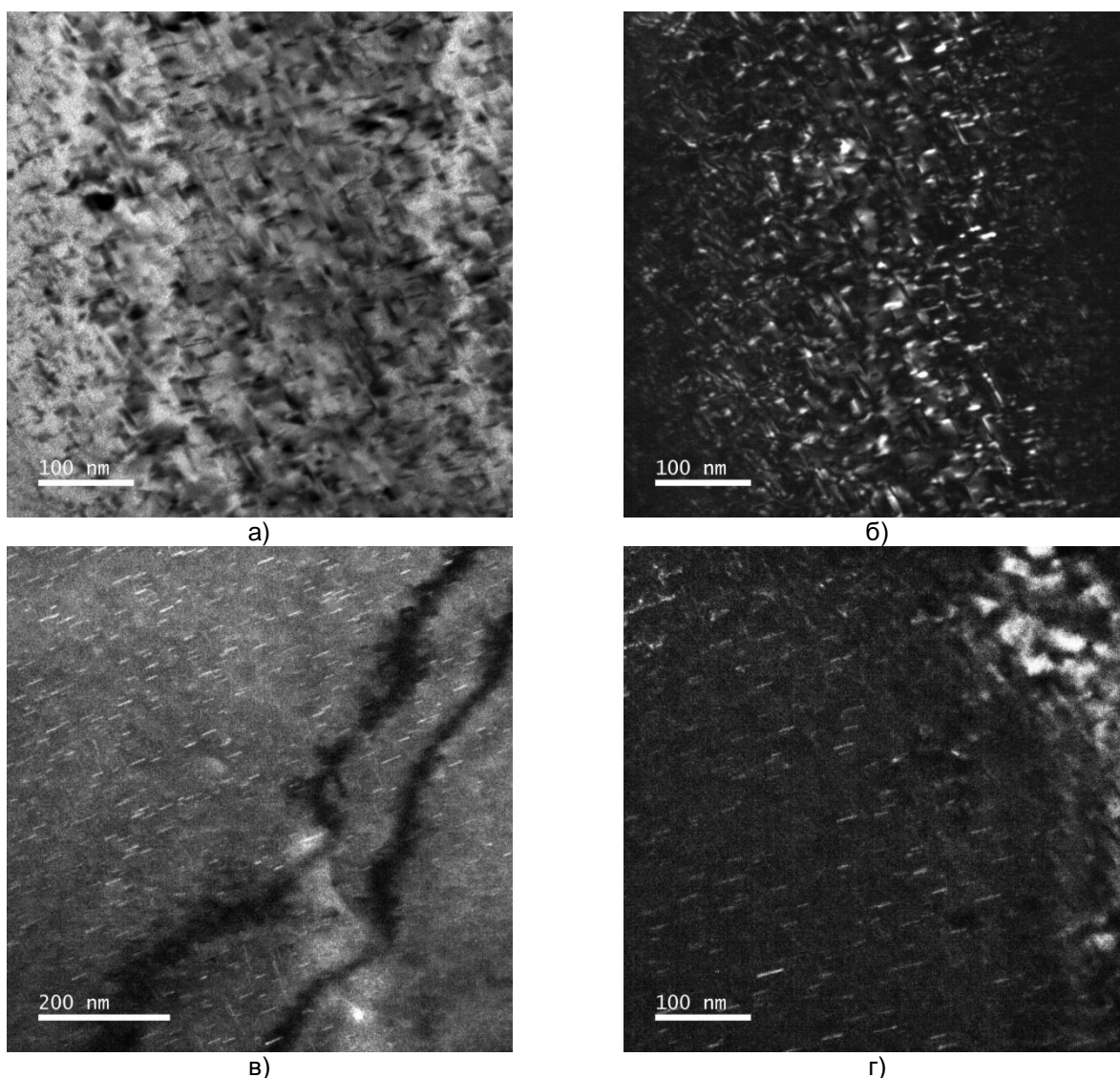


Рисунок 7 – Электронно-микроскопические изображения микроструктуры сплава $0,6\text{Mg}1\text{Si}$ после отжига по маршруту $550\text{ }^\circ\text{C}$ 8 ч + $180\text{ }^\circ\text{C}$ 5 ч: а – светлопольное изображение; б–г – темнопольные изображения в рефлексах фаз

Figure 7 – Electron microscopic images of the microstructure of the alloy $0.6\text{Mg}1\text{Si}$ after annealing along the route $550\text{ }^\circ\text{C}$ 8 h + $180\text{ }^\circ\text{C}$ 5 h: a – light-field image; b–d - dark-field images in phase reflexes

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ В АВИАЛЯХ С ИЗБЫТКОМ КРЕМНИЯ И ДОБАВКАМИ СКАНДИЯ И ЦИРКОНИЯ

В сплаве 0,6Mg1Si (без добавок Sc и Zr) после используемого стандартного режима термообработки (550 °С, 8 ч + 180 °С, 5 ч) в целом обнаруживается картина, схожая с наблюдаемой в сплаве 0,6Mg1Si0,3Sc0,15Zr после его трехступенчатой обработки. На изображениях микроструктуры выявляются высокодисперсные игловидные выделения β -типа, характеризующиеся высокой объемной долей и плотностью распределения в пространстве (рисунок 7). Тонкие иглы зон Гинье-

Пристона (далее ЗГП), характеризующиеся длиной до 20 нм и диаметром до 3 нм (рисунок 7, а, б), более крупные частицы фазы β'' длиной 70–120 нм и диаметром до 5 нм (рисунок 7, в, г). В то же время необходимо отметить, что в отличие от сплава 0,6Mg1Si0,3Sc0,15Zr, в базовом сплаве выделения β'' гораздо более дисперсные, в нем также присутствуют ЗГП и отсутствуют крупные частицы β -фазы.

Влияние многоступенчатого отжига на микротвердость и её связь с микроструктурой

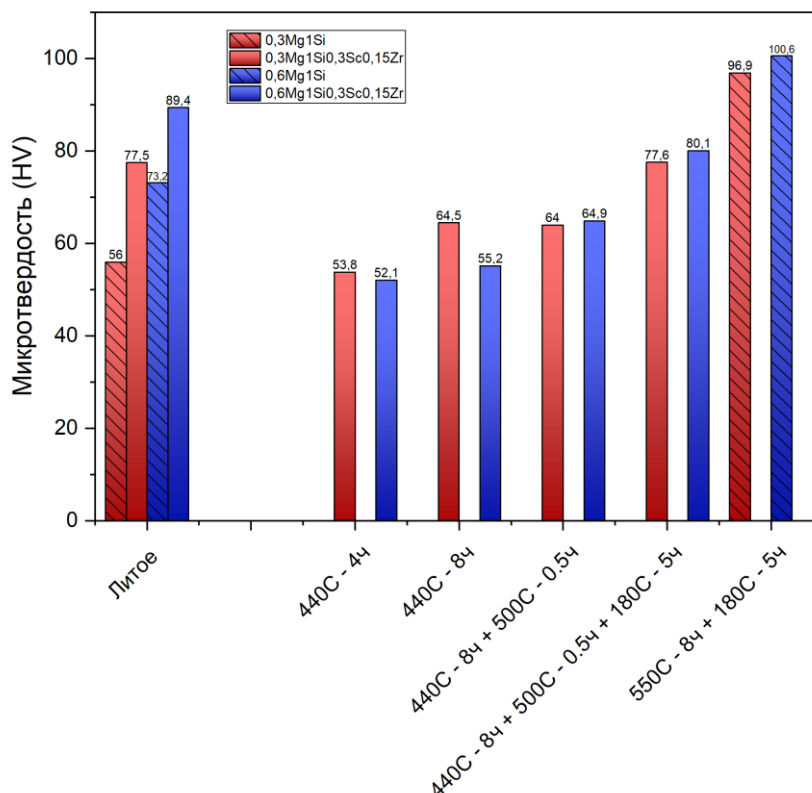


Рисунок 8 – Микротвердость в литом состоянии и после различных ТО

Figure 8 – Microhardness in the cast state and after various HT

В литом состоянии модифицированный скандием и цирконием сплав показывает большие значения микротвердости, чем сплав без добавок данных элементов (рисунок 8). Это может говорить как о влиянии твердорастворного упрочнения, так и дисперсионном упрочнении полукогерентными частицами типа $Al_3(ScZr)$. Стоит отметить, что даже полукогерентные дисперсоиды $Al_3(ScZr)$ могут оказывать определённое упрочняющее воздействие [22]. Необходимо отметить, что в отличие от результатов работы [19], полностью когерентных частиц в данном сплаве обнаружено не было. Это может быть связано с тем, что в процессе применения ТЕМ площадь исследования, как правило, ограни-

чена несколькими зёрнами. В то же время, согласно приведенным в [19] данным, кристаллографическая ориентация зёрна может влиять на морфологию и когерентность частиц $Al_3(ScZr)$. Поэтому в данном случае отсутствие полностью когерентных частиц может объясняться тем, что содержащие их зёрна просто не попали в поле зрения в ходе исследования с помощью ТЕМ. Необходимо отметить, что дисперсоиды, формирующиеся в ходе непрерывного распада, выделяются в большем количестве, обладают меньшим размером и в целом вызывают более сильный упрочняющий эффект. Таким образом, прерывистый распад оказывает негативный эффект: так, в процессе него тратится скан-

дий, необходимый для формирования частиц $Al_3(ScZr)$ в ходе непрерывного распада при последующей термической обработке.

Негативным фактом также является формирование первичных интерметаллидов типа $(AlSi)_3Sc$, так как они также забирают часть скандия, необходимого для протекания стабильного непрерывного распада. Проблемы усугубляются еще и тем, что, согласно фазовой диаграмме, приведенной в [19], при данной концентрации скандия и циркония невозможно растворение уже выделившихся интерметаллидов типа $Al_3(ScZr)$ в пересыщенный твердый раствор. Кроме того, первичные интерметаллиды $(AlSi)_3ScZr$ содержат в себе кремний, необходимый для образования частиц β'' , что будет отрицательно влиять на процесс их формирования. Наличие в литом состоянии интерметаллидов типа $Fe_2Mg_7Si_{10}Al_{18}$ и $\beta(Mg_2Si)$ также является негативным фактором, поскольку они содержат в себе кремний и магний, необходимые для образования β'' -фазы.

При отжиге на протяжении 4 часов при температуре 440 °C происходит потеря прочности, связанная прежде всего с выходом магния и кремния из пересыщенного твердого раствора и образованием частиц типа $\beta(Mg_2Si)$ и роста размеров $Fe_2Mg_7Si_{10}Al_{18}$. При повышении времени выдержки происходит небольшое увеличение микротвердости, связанное с выделением частиц $Al_3(ScZr)$. Таким образом, непрерывный распад все же происходит, но число частиц, выделяющихся в виде нанодисперсоидов, достаточно мало и не оказывает серьезного эффекта на прочностные свойства. Это, как уже упоминалось, связано прежде всего с прерывистым распадом и образованием первичных частиц $(AlSi)_3ScZr$, что, в свою очередь, ограничивает возможности формирования наночастиц при непрерывном распаде.

Последующий нагрев не ведет к существенным изменениям в микротвердости: это объясняется тем, что большинство частиц β'' -фазы не растворяется после данной ступени, а растворение $Fe_2Mg_7Si_{10}Al_{18}$ происходит лишь частично. Это и отражается на результатах заключительного искусственного старения: частиц β'' в сплаве с добавками скандия и циркония значительно меньше, чем в базовом сплаве, а зоны Гинье-Пристона вообще отсутствуют.

Можно констатировать, что, с одной стороны, из-за прерывистого распада, а также образования крупных первичных интерметаллидов возможность формирования наночастиц Al_3Sc при последующей термической обработке ограничена. В то же время в отли-

чие от базового сплава, где возможна полноценная закалка при температуре 550 °C, кратковременная обработка при 500 °C в течение 30 минут не дает возможности растворить кремниевые- и магниевосодержащие интерметаллиды. Стоит отметить, что такое краткое время и более низкая температура были выбраны для того, чтобы образовавшиеся наночастицы типа $Al_3(ScZr)$ не успевали коагулировать. Однако, учитывая их малое количество в сплаве $0,6Mg_1Si_0,3Sc_0,15Zr$, в целом такая закалка бесполезна. В результате в базовом сплаве выделяется куда больше частиц типа $\beta''(Mg_2Si)$ и ЗГП, чем в сплаве с добавками циркония и скандия. Таким образом, добавки циркония (0,15 вес. %) и скандия (0,3 вес. %) в сплавы системы Al-Mg-Si с большим избытком кремния оказывают скорее негативный эффект для недеформированных образцов.

ВЫВОДЫ

1. При кристаллизации сплава $0,6Mg_1Si_0,15Zr_0,3Sc$ в нём формируются первичные интерметаллидные частицы типа $(AlSi)_3Sc$, а затем при остывании формируются полукогерентные частицы длиной 40 нм и диаметром 10 нм со схожим химическим составом. В результате количество скандия в пересыщенном твердом растворе значительно сокращается. Поэтому в ходе непрерывного распада при последующей термической обработке формируется ограниченное количество когерентных частиц $(AlSi)_3Sc$, практически не влияющих на прочностные свойства.

2. Кратковременная закалка сплава $0,6Mg_1Si_0,15Zr_0,3Sc$ не приводит к растворению Mg и Si в пересыщенном твердом растворе. В результате этого количество формирующихся частиц β'' значительно больше, чем в базовом сплаве, а их прочностные характеристики выше.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алаттар А.Л., Никитина Л.Н., Бажин В.Ю. Повышение физико-механических свойств алюминиевых сплавов, армированных частицами карбида бора // *Электротехнология*. 2022. № 7. С. 13–22.
2. Kosov Y.I., Bazhin V.Y. Synthesis of an aluminum–erbium master alloy from chloride–fluoride melts // *Russian Metallurgy (Metally)*. 2018. Т. 2018. № 2. С. 139–148. doi : 10.1134/S0036029518020088.
3. Bazhin V.Y., Kosov Y.I., Lobacheva O.L., Dzhevaga N.V. Synthesis of aluminum-based scandium–yttrium master alloys // *Russian Metallurgy (Metally)*. 2015. Т. 2015. № 7. С. 516–520. doi : 10.1134/S0036029515070034.
4. Бенариев И., Бер Л.Б., Антипов К.В., Сбитнева С.В. Тенденции развития деформируемых сплавов системы Al-Mg-Si-(Cu). Часть 1 (обзор) // *Авиационные материалы и технологии*. 2019. № 3 (56). С. 14–22. doi : 10.18577/2071-9140-2019-0-3-14-22.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ В АВИАЛЯХ С ИЗБЫТКОМ КРЕМНИЯ И ДОБАВКАМИ СКАНДИЯ И ЦИРКОНИЯ

5. Benedyk J.C. Aluminum alloys for lightweight automotive structures // *Materials, design and manufacturing for lightweight vehicles*. Woodhead Publishing, 2010. С. 79–113. С. 1–7. doi : 10.1533/9781845697822.1.79.
6. Колобнев Н.И., Бер Л.Б., Хохлатова Л.Б., Рябов Д.К. Структура, свойства и применение сплавов системы Al-Mg-Si-(Cu) // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2011. № 9. С. 40–45.
7. Edwards G.A., Stiller K., Dunlop G.L., Couper M.J. The precipitation sequence in Al-Mg-Si alloys // *Acta materialia*. 1998. Т. 46. № 11. С. 3893–3904. doi : 10.1016/S1359-6454(98)00059-7.
8. Murayama M., Hono K. Pre-precipitate clusters and precipitation processes in Al-Mg-Si alloys // *Acta materialia*. 1999. Т. 47. № 5. С. 1537–1548. doi : 10.1016/S1359-6454(99)00033-6.
9. Meyruey G., Massardier V., Lefebvre W., Perez M. Over-ageing of an Al-Mg-Si alloy with silicon excess // *Materials Science and Engineering: A*. 2018. Т. 730. С. 92–105. doi : 10.1016/j.msea.2018.05.094.
10. Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. МИСиС, 2005.
11. Davydov V.G., Elagin V.I., Zakharov V.V., Rostoval D. Alloying aluminum alloys with scandium and zirconium additives // *Metal Science and Heat Treatment*. 1996. Т. 38. № 8. С. 347–352. doi : 10.1007/BF01395323.
12. Zakharov V.V. Combined alloying of aluminum alloys with scandium and zirconium // *Metal Science and Heat Treatment*. 2014. Т. 56. № 5–6. С. 281–286. doi : 10.1007/s11041-014-9746-5.
13. Рохлин Л.Л., Бочвар Н.Р., Табачкова Н.Ю., Суханов А.В. Влияние скандия на кинетику и упрочнение при старении сплавов системы al-mg 2si // *Технология легких сплавов*. 2015. № 2. С. 53–62.
14. Vlach M., Smola B., Stulíková I., Očenášek V. Microstructure and mechanical properties of the AA6082 aluminium alloy with small additions of Sc and Zr // *International journal of materials research*. 2009. Т. 100. № 3. С. 420–423. doi : 10.3139/146.110022.
15. Jiang S., Wang R. Grain size-dependent Mg/Si ratio effect on the microstructure and mechanical/electrical properties of Al-Mg-Si-Sc alloys // *Journal of Materials Science & Technology*. 2019. Т. 35. № 7. С. 1354–1363. doi : 10.1016/j.jmst.2019.03.011.
16. Cabibbo M., Evangelista E. A TEM study of the combined effect of severe plastic deformation and (Zr), (Sc+ Zr)-containing dispersoids on an Al-Mg-Si alloy // *Journal of materials science*. 2006. Т. 41. С. 5329–5338. doi : 10.1007/s10853-006-0306-2.
17. Aryshenskii E., Lapshov M., Hirsch J., Konovalov S., Bazhenov V., Drits A., Zaitsev D. Influence of the small sc and zr additions on the as-cast microstructure of al-mg-si alloys with excess silicon // *Metals*. 2021. Т. 11. № 11. С. 1797. doi : 10.3390/met11111797.
18. Vlach M., Smola B., Stulíková I., Očenášek V. Microstructure and mechanical properties of the AA6082 aluminium alloy with small additions of Sc and Zr // *International journal of materials research*. 2009. Т. 100. № 3. С. 420–423. doi : 10.3139/146.110022.
19. Aryshenskii E., Lapshov M., Konovalov S., Hirsch J., Aryshenskii V., Sbitneva S. The Casting Rate Impact on the Microstructure in Al-Mg-Si Alloy with Silicon Excess and Small Zr, Sc Additives // *Metals*. 2021. Т. 11. № 12. С. 2056. doi : 10.3390/met11122056.
20. Du Y., Chang Y.A., Liu S., Huang B., Xie F.Y., Yang Y., Chen S.L. Thermodynamic description of the Al-Fe-Mg-Mn-Si system and investigation of microstructure and microsegregation during directional solidification of an Al-Fe-Mg-Mn-Si alloy // *International Journal of Materials Research*. 2022. Т. 96. № 12. С. 1351–1362. doi : 10.3139/ijmr-2005-0235.
21. Norman A.F., Prangnell P.B., McEwen R.S. The solidification behaviour of dilute aluminium-scandium alloys // *Acta materialia*. 1998. Т. 46. № 16. С. 5715–5732. doi : 10.1016/S1359-6454(98)00257-2.
22. Röyset J., Ryum N. Scandium in aluminium alloys // *International Materials Reviews*. 2005. Т. 50. № 1. С. 19–44. doi : 10.1179/174328005X14311.
23. Kumar S., Babu N.H., Scamans G.M., Eskin D.G., Fan Z. Solidification behaviour of an AA5754 Al alloy ingot cast with high impurity content // *International journal of materials research*. 2012. Т. 103. № 10. С. 1228–1234. doi : 10.3139/146.110760.
24. Engler O., Miller-Jupp S. Control of second-phase particles in the Al-Mg-Mn alloy AA 5083 // *Journal of Alloys and Compounds*. 2016. Т. 689. С. 998–1010. doi : 10.1016/j.jallcom.2016.08.070.
25. Lech-Grega M., Boczkal S. Iron Phases in Model Al-Mg-Si-Cu Alloys // *Materials Science Forum*. Trans Tech Publications Ltd, 2011. Т. 674. С. 135–140. doi : 10.4028/www.scientific.net/MSF.674.135.

Информация об авторах

Е. В. Арышенский – доктор технических наук, доцент, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории электронной микроскопии и обработки изображений СибГИУ, ведущий научный сотрудник ОНИЛ-4 Самарского университета.

М. А. Лапшов – инженер ОНИЛ-4 Самарского университета.

Д. Ю. Распосиенко – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией цветных сплавов института физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук.

С. В. Коновалов – доктор технических наук, профессор, проректор по научной и инновационной деятельности Сибирского государственного индустриального университета; главный научный сотрудник ОНИЛ-4 Самарского университета.

К. А. Малкин – лаборант ОНИЛ-4 Самарского университета.

В. В. Макаров – научный сотрудник, лаборатории цветных сплавов института физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, младший научный сотрудник ОНИЛ-4 Самарского университета.

REFERENCES

1. Alattar, A.L., Nikitina, L.N. & Bazhin, V.YU. (2010). improving the physical and mechanical properties of aluminum alloys reinforced with boron carbide particles. *Electrometallurgy*, (7), 13-22. (In Russ.).
2. Kosov, Y.I. & Bazhin, V.Y. (2018). Synthesis of an aluminum-erbium master alloy from chloride-fluoride melts. *Russian Metallurgy (Metally)*, (2), 139-148. doi : 10.1134/S0036029518020088.
3. Bazhin, V.Y., Kosov, Y.I., Lobacheva, O.L. & Dzhevaga, N.V. (2015). Synthesis of aluminum-based scandium-yttrium master alloys. *Russian Metallurgy (Metally)*, (7), 516-520. doi : 10.1134/S0036029515070034.

4. Benarieb, I., Ber, L.B., Antipov, K.V. & Sbitneva, S.V. (2019). Trends in the development of deformable alloys of the Al-Mg-Si-(Cu) system. Part 1 (review). *Aviation materials and technologies*, (3 (56)), 14-22. (In Russ.). doi : 10.18577/2071-9140-2019-0-3-14-22.
5. Benedyk, J.C. (2010). Aluminum alloys for lightweight automotive structures. In *Materials, design and manufacturing for lightweight vehicles* (pp. 79-113). Woodhead Publishing. doi : 10.1533/9781845697822.1.79.
6. Kolobnev, N.I., Ber, L.B., Khokhlatova, L.B. & Ryabov, D.K. (2011). Structure, properties and application of alloys of the Al-Mg-Si-(Cu) system. *Metallography and heat treatment of metals*, (9), 40-45.
7. Edwards, G.A., Stiller, K., Dunlop, G.L. & Couper, M.J. (1998). The precipitation sequence in Al-Mg-Si alloys. *Acta materialia*, 46(11), 3893-3904. doi : 10.1016/S1359-6454(98)00059-7.
8. Murayama, M. & Hono, K. (1999). Pre-precipitate clusters and precipitation processes in Al-Mg-Si alloys. *Acta materialia*, 47(5), 1537-1548. doi : 10.1016/S1359-6454(99)00033-6.
9. Meyruey, G., Massardier, V., Lefebvre, W. & Perez, M. (2018). Over-ageing of an Al-Mg-Si alloy with silicon excess. *Materials Science and Engineering: A*, 730, 92-105. doi : 10.1016/j.msea.2018.05.094.
10. Kolachev, B.A., Elagin, V.I. & Livanov, V.A. (2005). Metallography and heat treatment of non-ferrous metals and alloys. Missis. (In Russ.).
11. Davydov, V.G., Elagin, V.I., Zakharov, V.V. & Rostoval, D. (1996). Alloying aluminum alloys with scandium and zirconium additives. *Metal Science and Heat Treatment*, 38(8), 347-352. doi : 10.1007/BF01395323.
12. Zakharov, V.V. (2014). Combined alloying of aluminum alloys with scandium and zirconium. *Metal Science and Heat Treatment*, 56(5-6), 281-286. doi : 10.1007/s11041-014-9746-5.
13. Rokhlin, L.L., Bocharov, N.R., Tabachkova, N.Yu. & Sukhanov, A.V. (2015). Effect of scandium on kinetics and hardening during aging of alloys of the Al-Mg₂Si system. *Technology of light alloys*, (2), 53-62. (In Russ.).
14. Vlach, M., Smola, B., Stulíková, I. & Očenášek, V. (2009). Microstructure and mechanical properties of the AA6082 aluminium alloy with small additions of Sc and Zr. *International journal of materials research*, 100(3), 420-423. doi : 10.3139/146.110022.
15. Jiang, S. & Wang, R. (2019). Grain size-dependent Mg/Si ratio effect on the microstructure and mechanical/electrical properties of Al-Mg-Si-Sc alloys. *Journal of Materials Science & Technology*, 35(7), 1354-1363. doi : 10.1016/j.jmst.2019.03.011.
16. Cabibbo, M. & Evangelista, E. (2006). A TEM study of the combined effect of severe plastic deformation and (Zr), (Sc+ Zr)-containing dispersoids on an Al-Mg-Si alloy. *Journal of materials science*, 41, 5329-5338. doi : 10.1007/s10853-006-0306-2.
17. Aryshenskii, E., Lapshov, M., Hirsch, J., Kononov, S., Bazhenov, V., Drits, A. & Zaitsev, D. (2021). Influence of the small Sc and Zr additions on the as-cast microstructure of Al-Mg-Si alloys with excess silicon. *Metals*, 11(11), 1797. doi : 10.3390/met11111797.
18. Vlach, M., Smola, B., Stulíková, I. & Očenášek, V. (2009). Microstructure and mechanical properties of the AA6082 aluminium alloy with small additions of Sc and Zr. *International journal of materials research*, 100(3), 420-423. doi : 10.3139/146.110022.
19. Aryshenskii, E., Lapshov, M., Kononov, S., Hirsch, J., Aryshenskii, V. & Sbitneva, S. (2021). The Casting Rate Impact on the Microstructure in Al-Mg-Si Alloy with Silicon Excess and Small Zr, Sc Additives. *Metals*, 11(12), 2056. doi : 10.3390/met11122056.
20. Du, Y., Chang, Y.A., Liu, S., Huang, B., Xie, F.Y., Yang, Y. & Chen, S.L. (2022). Thermodynamic description of the Al-Fe-Mg-Mn-Si system and investigation of microstructure and microsegregation during directional solidification of an Al-Fe-Mg-Mn-Si alloy. *International Journal of Materials Research*, 96(12), 1351-1362. doi : 10.3139/ijmr-2005-0235.
21. Norman, A.F., Prangnell, P.B. & McEwen, R.S. (1998). The solidification behaviour of dilute aluminium-scandium alloys. *Acta materialia*, 46(16), 5715-5732. doi : 10.1016/S1359-6454(98)00257-2.
22. Røyset, J. & Ryum, N. (2005). Scandium in aluminium alloys. *International Materials Reviews*, 50(1), 19-44. doi : 10.1179/174328005X14311.
23. Kumar, S., Babu, N.H., Scamans, G.M., Eskin, D.G. & Fan, Z. (2012). Solidification behaviour of an AA5754 Al alloy ingot cast with high impurity content. *International journal of materials research*, 103(10), 1228-1234. doi : 10.3139/146.110760.
24. Engler, O. & Miller-Jupp, S. (2016). Control of second-phase particles in the Al-Mg-Mn alloy AA 5083. *Journal of Alloys and Compounds*, 689, 998-1010. doi : 10.1016/j.jallcom.2016.08.070.
25. Lech-Grega, M. & Boczkal, S. (2011, March). Iron Phases in Model Al-Mg-Si-Cu Alloys. In *Materials Science Forum* (Vol. 674, P. 135-140). Trans Tech Publications Ltd. doi : 10.4028/www.scientific.net/MSF.674.135.

Information about the authors

E. V. Aryshensky - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher at the Research Laboratory of Electron Microscopy and Image Processing of SibGIU. Leading Researcher of ONIL-4 Samara University.

M. A. Lapshov - Engineer of ONIL-4 Samara University.

D. Y. Rasposiyenko - Candidate of Technical Sciences, Leading researcher, Head of the Laboratory of Non-ferrous Alloys of the Institute of Metal Physics named after M.N. Mikheev of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.

S. V. Kononov - Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for Scientific and Innovative Activities of the Siberian State Industrial University; Chief Researcher of ONIL-4 Samara University.

K. A. Malkin - is a laboratory assistant at ONIL-4 Samara University.

V. V. Makarov - is a researcher at the Laboratory of Non-ferrous Alloys of the Institute of Metal Physics named after M.N. Mikheev of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Juniorresearcher at ONIL-4 Samara University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 16 марта 2023; одобрена после рецензирования 18 сентября 2023; принята к публикации 20 ноября 2023.

The article was received by the editorial board on 16 Mar 2023; approved after editing on 18 Sep 2023; accepted for publication on 20 Nov 2023.



Научная статья

2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов (технические науки)

УДК 669.539.392:669.17:548.571:548.4

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.024

EDN: YPKKNK

РАЗРУШЕНИЕ ПЛАСТИНЧАТОГО ПЕРЛИТА ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ РЕЛЬСОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Юрий Федорович Иванов ¹, Виктор Евгеньевич Громов ^{2*},
Михаил Анатольевич Порфирьев ³, Роман Евгеньевич Крюков ⁴,
Виталий Владиславович Шляров ⁵

¹ Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск, Россия

^{2, 3, 4, 5} Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия

¹ yufi55@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8022-7958>

^{2*} gromov@physics.sibsiu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5147-5343>

³ mporf372@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3602-5739>

⁴ rek_nzrmk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3394-7941>

⁵ shlyarov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8130-648X>

Аннотация. Методами просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) выполнен анализ структурно-фазовых состояний и дефектной субструктуры поверхностных слоев рельсов категории ДТ400, изготовленных из электростали Э90ХАВ, после испытаний на экспериментальном кольце РЖД в г. Щербинке (пропущенный тоннаж 187 млн. тонн брутто). Анализ проведен на глубине до 2 мм по радиусу скругления выкружки. Структура рельсовой стали представлена преимущественно зернами пластинчатого перлита, в феррите которого наблюдается дислокационная субструктура, сформированная хаотически распределенными дислокациями и сетками. Выявлено формирование изгибных контуров экстинкции и выявлены источники кривизны–кручения кристаллической решетки. Средние поперечные размеры экстинкционных контуров достигают минимальных значений на глубине 2 мм. Установлена зависимость скалярной плотности дислокаций от расстояния до поверхности выкружки головки рельса. На расстоянии 2 мм от поверхности скалярная плотность максимальна. Показано, что в процессе эксплуатации происходит трансформация перлитной структуры, заключающаяся в разрезании пластин цементита движущимися дислокациями и вытягивание атомов углерода из цементита в ферритную матрицу.

Ключевые слова: разрушение цементита, поверхность, рельсы, экстинкционные контуры, дислокации, эксплуатация, электронная микроскопия.

Благодарности: Авторы признательны Н. А. Поповой за обсуждение результатов экспериментов и Е. В. Полевому за предоставленные образцы.

Для цитирования: Разрушение пластинчатого перлита в поверхности катания рельсов при длительной эксплуатации / Ю. Ф. Иванов [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 4, С. 191–198. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.024. EDN: <https://elibrary.ru/YPKKNK>.

Original article

FRACTURE OF LAMELLAR PEARLITE IN THE TRED SURFACE OF RAILS DURING LONG-TERM OPERATION

Yurii F. Ivanov ¹, Victor E. Gromov ^{2*}, Michael A. Porfiriev ³,
Roman E. Kryukov ⁴, Vitaly V. Shlyarov ⁵

¹ Institute of High Current Electronics SB RAS, Tomsk, Russia

^{2, 3, 4, 5} Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

© Иванов Ю. Ф., Громов В. Е., Порфирьев М. А., Крюков Р. Е., Шляров В. В., 2023

¹ yufi55@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8022-7958>

² gromov@physics.sibsiu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5147-5343>

³ mporf372@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3602-5739>

⁴ rek_nzrmk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3394-7941>

⁶ shlyarov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8130-648X>

Abstract. Using the methods of transmission electron diffraction microscopy, the structure, phase composition, dislocation substructure in surface layers up to 2 mm deep from the surface of the fillet of differentially hardened special-purpose rails made of E90KhAF steel were analyzed after a missed tonnage of 187 million gross tons. The structure of rail steel is represented mainly by grains of lamellar perlite, in the ferrite of which a dislocation substructure is observed, formed by randomly distributed dislocations and networks. The formation of bending contours of extinction has been established and the sources of curvature-torsion of the crystal lattice have been identified. The average transverse dimensions of the extinction contours reach their minimum values at a depth of 2 mm. It is shown that the scalar density of dislocations of the studied steel increases as it approaches the surface of the rail fillet, reaching a maximum value at a distance of 2 mm from the surface. The mechanisms of destruction of cementite plates (cutting by moving dislocations and dissolution in place) and the precipitation of nanosized particles of the carbide phase are considered.

Keywords: destruction of cementite, surface, rails, extinction contours, dislocations, exploitation, electron microscopy.

Acknowledgements: The authors are grateful to N.A. Popova for discussion of the experimental results and E.V. Plevomu for the provided samples.

For citation: Ivanov, Yu. F., Gromov, V. E., Porfiriev, M. A., Kryukov, R. E. & Shlyarov, V. V. (2023). Fracture of lamellar pearlite in the surface layers of railhead during long-term operation. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 191-198. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.024. EDN: <https://elibrary.ru/YPKKNK>.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из приоритетных направлений в физике сталей является выявление природы деградации механических свойств рельсового металла при длительной эксплуатации [1]. Проблема поведения рельсов при эксплуатации имеет фундаментальный интерес и практическую значимость. Это связано с тем, что в последние годы резко возросли нагрузки на ось и скорости движения железнодорожного транспорта. При эксплуатации рельсов в поверхностных слоях протекают сложные релаксационные, рекристаллизационные процессы, приводящие к ухудшению механических свойств и выходу рельсов [2–7].

Повышенный интерес к изучению механизмов распада цементита в холоднодеформированных перлитных сталях начался с 60-х годов прошлого столетия в связи с потребностями производства в высокопрочной проволоке и открывшимися возможностями просвечивающей электронной микроскопии [8]. Применительно к рельсовой тематике распад цементита ожидаем при длительной эксплуатации рельсов и образовании «белого слоя» [1, 6], способного привести к возникновению микротрещин. Гипотезы о чрезвычайно высокой твердости «белого слоя» базируются на его мартенситной природе и измельчении

феррито-перлитной структуры до наноразмерного диапазона зерен, в которой растворяется цементит [9–12].

В наших работах [1, 13, 14] прослежено протекание процесса распада цементита и перераспределения атомов углерода по сечению головки рельсов по разным направлениям. Показано, что выкружка головки рельсов является потенциальным местом зарождения очагов разрушения. Это связано с тем, что процессы обезуглероживания поверхностного слоя и выход атомов углерода на дефекты структуры более развиты на поверхности выкружки по сравнению с поверхностью катания.

4 года назад в России начато производство нового вида продукции – рельсов из заэвтектидной стали категории ДТ400ИК. Это рельсы повышенной износостойкости и контактной выносливости. Для совершенствования технологии производства и формирования высоких механических свойств таких рельсов необходимы знания эволюции структуры, фазового состава, дефектной субструктуры в головке рельсов после длительной эксплуатации. Для рельсов общего назначения категории ДТ350 в работах [1, 7, 13, 14] такие закономерности были выявлены. В связи с вышеизложенным, в настоящей работе выполнен анализ трансформации

РАЗРУШЕНИЕ ПЛАСТИНЧАТОГО ПЕРЛИТА В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ ГОЛОВКИ РЕЛЬСОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

пластинчатого перлита на разном расстоянии от поверхности выкружки для рельсов категории ДТ400ИК.

МЕТОДЫ

Объектом исследования были образцы рельсов категории ДТ400ИК из электростали марки Э90ХАФ после испытаний на кольце РЖД (г. Щербинка). Пропущенный тоннаж составлял 187 млн. тонн брутто. Элементный состав соответствовал ГОСТ 51685-213 и техническим условиям РЖД ТУ 24.10.75111-298-057576.2017. Структурно-фазовые состояния и дефектная субструктура рельсов определялись методами просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ, прибор JEOL JEM21100F) [15–17]. Скалярная плотность дислокаций определялась по методике, приведенной в [1, 18]. Фольги для исследования

Таблица 1 – Зависимость параметров тонкой структуры рельсов от расстояния от поверхности выкружки

Table 1 – Dependence of the fine structure parameters rails on distance from the fillet surface

Расстояние от поверхности	$\langle \rho \rangle, 10^{10} \text{ см}^{-2}$	D, мкм	d, нм	H ₁ , нм	H ₂ , нм	$\frac{1}{\delta_1, \text{ мкм}^2}$	$\frac{1}{\delta_2, \text{ мкм}^2}$
0	4,5	3,5	30	175	14	0,09	1,0
2	5,4	3,0	47	150	12,5	0,11	0,08

$\langle \rho \rangle$ – скалярная плотность дислокаций, D – продольный размер фрагментов ферритных пластин, d – продольные размеры фрагментов цементитных пластин, H₁ и H₂ – поперечные размеры изгибных контуров 1 и 2 типа, δ_1 и δ_2 – удельная плотность контуров.

Характерной особенностью ПЭМ изображений структуры является наличие экстинкционных контуров, свидетельствующих о кривизне – кручении решетки [1, 7, 13, 14]. Они наблюдаются в ферритных и цементитных пластинах. В ферритных пластинах контуры могут распространяться во всем зерне перлита от одной до другой его границы. В этом случае границы раздела зерен или колоний перлита являются источниками кривизны – кручения решетки. В ряде случаев контуры располагаются в отдельно взятой пластине феррита. Их источниками в данном случае будут являться границы раздела фаз: феррита и цементита. Из таблицы 1 следует, что поперечные размеры контуров минимальны на расстоянии 2 мм от поверхности выкружки. Так как величина внутренних напряжений обратно пропорциональна величине поперечных размеров контуров [1, 7, 13, 14], то можно считать, что этот подповерхностный слой (2 мм) металла является наиболее напряженным.

Межфазная граница раздела феррит–цементит является максимально напряжен-

готовились на расстояниях 0 и 2 мм от поверхности по радиусу скругления выкружки.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Структура рельсовой стали представлена преимущественно зернами пластинчатого перлита. В ферритной составляющей перлита выявлена хаотическая и сетчатая дислокационная субструктура. Значения скалярной плотности дислокаций представлены в таблице 1. Установлено, что пластины феррита и цементита фрагментированы. Поперечные размеры фрагментов феррита не зависят от расстояния до поверхности выкружки, тогда как продольные значения растут по мере удаления от поверхности. Аналогичным образом ведут себя продольные размеры фрагментов пластин цементита.

Об этом свидетельствует факт высокой плотности концентраторов напряжений у межфазных границ. У этих же границ амплитуда напряжений на порядок выше амплитуды напряжений у внутрифазных границ. Пластины цементита более прочные, чем пластины феррита и контуры экстинкции встречаются в них значительно реже. Их поперечные размеры находятся в пределах (8–13) нм и не зависят от расстояния от поверхности выкружки. В работах [1, 8, 19–21] отмечено, что пластинчатый перлит разрушается при деформации. Основными механизмами разрушения являются: перерезание цементитных пластин движущимися дислокациями; вытягивание атомов углерода из цементита на дислокации. Причиной второго механизма является значительная разница энергии связи атомов углерода с дислокациями (0,6 эВ) и с атомами железа в цементите (0,4 эВ). Протекание этих механизмов зависит от типов дислокационной субструктуры и плотности дислокаций.

Характерное изображение формирующей структуры при длительной эксплуата-

ции представлено на рис. 1, а. Отчетливо видно опутывание пластин цементита дислокациями, в результате чего размывается контраст на межфазной границе, разделяющей пластины цементита и феррита. На микроэлектроннограмме (рис. 1, б), полученной с такого участка фольги, наблюдается азимутальное искажение рефлексов и феррита, и цементита, что свидетельствует о формировании разориентированной субструктуры.

Вынос атомов углерода в объем ферритных пластин сопровождается формированием новых наноразмерных глобулярных частиц цементита с размерами (5–8) нм (рис. 2). Это третичный цементит. На рисунке 3 представлено ПЭМ изображение структуры при реализации механизма разрезания пластин. При этом изменяются лишь линейные размеры цементита и его морфология. Фазовый состав цементита при этом не изменяется. Об этом свидетельствует анализ микроэлектроннограмм (рис. 2 и рис. 3). При вытягивании атомов углерода из карбидной фазы цементитные пластины первоначально опутываются дислокациями. В дальнейшем они разбиваются на слабоориентированные фрагменты. Новые фазы также не обнаруживаются.

В работах украинских металлофизиков отмечено, что этот процесс может происходить путем диффузии атомов по междоузлиям,

по деформационным вакансиям и по ядрам дислокаций [8]. Протекание этих механизмов зависит от ряда факторов, в частности условия деформирования, степени легирования стали и т. д. [1, 19, 20]. По мнению школы академика В.Е. Панина, в рамках физической мезомеханики такой механизм может быть представлен как наномасштабные мезоскопические структурные состояния [21–23]. Используя представления о ротационных модах пластической деформации и локальной кривизне решетки, авторы считают вероятным такой облегченный процесс перемещения атомов углерода. При этом несплошности типа микротрещин образовываться не будут.

Рост плотности дислокаций, других дефектов с увеличением пропущенного тоннажа может привести к формированию критического значения плотности дефектов и завершиться зарождением микротрещин, способных вывести рельсы из строя [24]. Анализ рисунков 1–3 и таблицы 1 свидетельствует, что на расстоянии 2 мм от поверхности выкружки основным механизмом разрушения цементитных пластин является вынос атомов углерода с последующим формированием новых частиц карбида железа. В поверхностном слое реализуются оба механизма трансформации цементита: разрушения движущимися дислокациями и вынос атомов углерода.

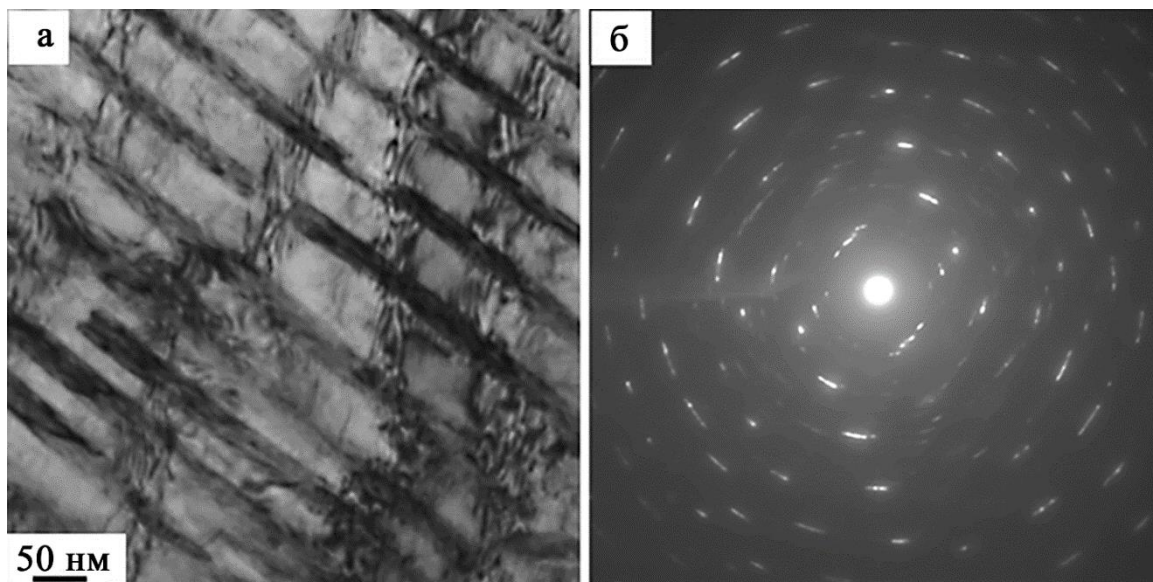


Рисунок 1 – ПЭМ изображение структуры рельсовой стали в слое на глубине 2 мм; а – светлое поле; б – микроэлектроннограмма к (а)

Figure 1 – TEM images of the structure of rail steel in a layer at a depth of 2 mm; a – bright field; b – microelectron diffraction pattern to (a)

РАЗРУШЕНИЕ ПЛАСТИНЧАТОГО ПЕРЛИТА В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ ГОЛОВКИ
РЕЛЬСОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

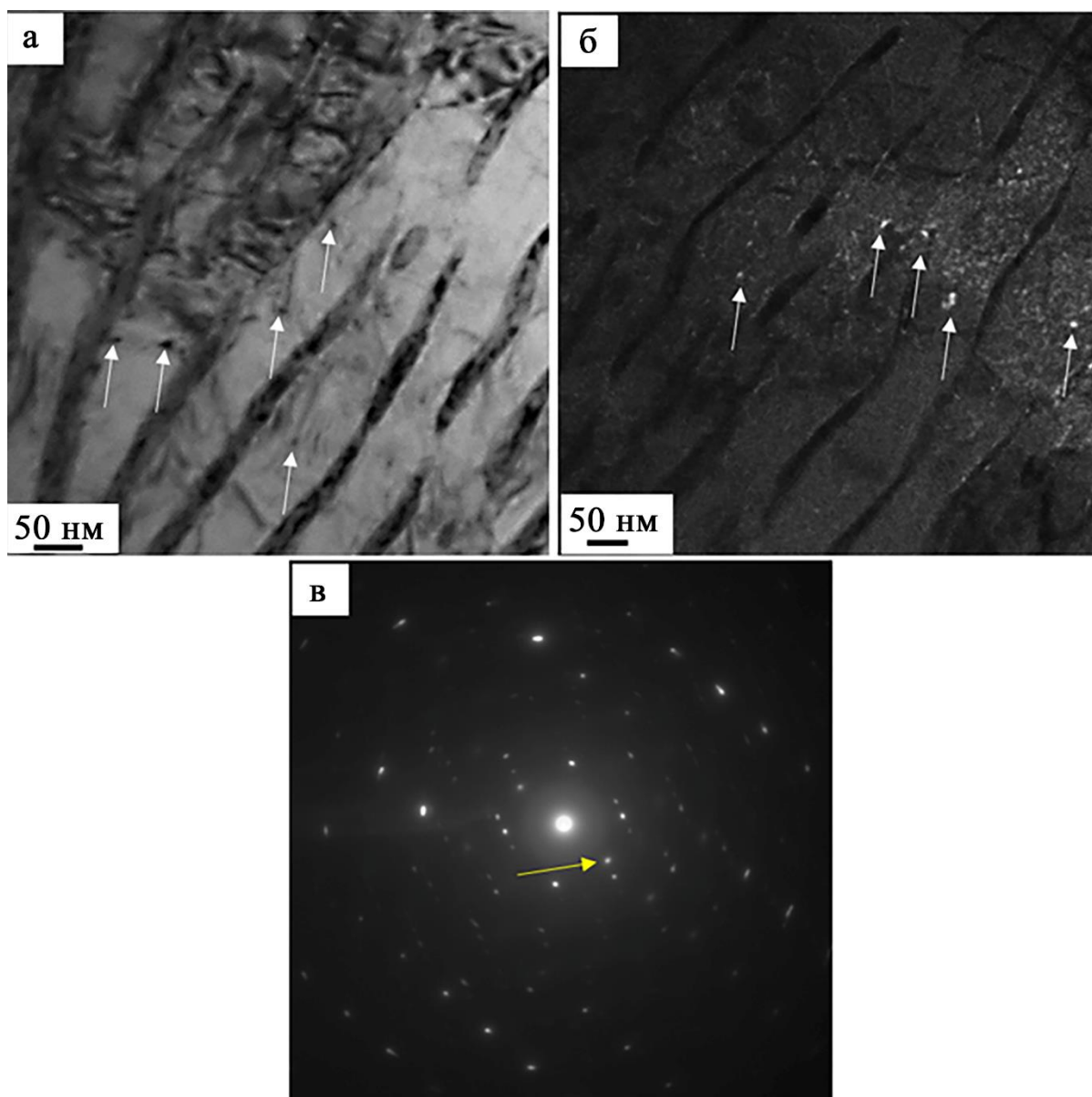


Рисунок 2 – ПЭМ изображения структуры слоя рельсовой стали, расположенного на глубине 2 мм; а – светлое поле; б – темное поле, полученное в совпадающих рефлексах $[110]\alpha\text{-Fe}$ и $[031]\text{Fe}_3\text{C}$; в – микроэлектроннограмма (стрелкой указан рефлекс, в котором получено темное поле). На (а) и (б) стрелками указаны частицы третичного цементита

Figure 2 – TEM images of the structure of the rail steel layer located at a depth of 2 mm; a – bright field; b – dark field obtained in coinciding reflections of $[110]\alpha\text{-Fe}$ and $[031]\text{Fe}_3\text{C}$; (c) microelectron diffraction pattern (the arrow indicates the reflection in which the dark field was obtained). Arrows in (a) and (b) indicate particles of tertiary cementite

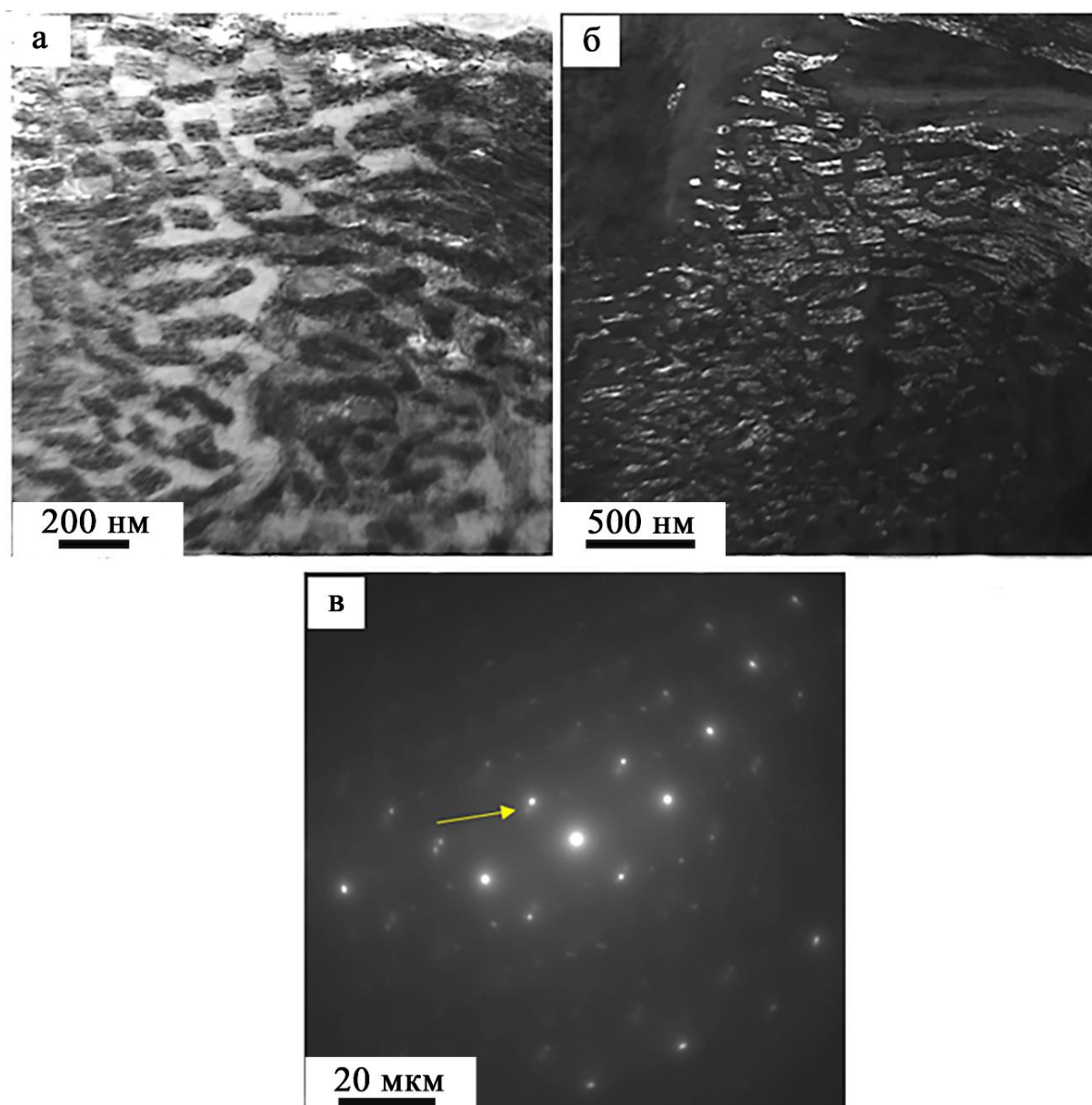


Рисунок 3 – ПЭМ изображения структуры поверхности выкружки; а – светлое поле; б – темное поле, полученное в совпадающих рефлексах $[110]\alpha\text{-Fe}$ и $[211]\text{Fe}_3\text{C}$; в – микроэлектроннограмма (стрелкой указан рефлекс, в котором получено темное поле)

Figure 3 – TEM images of the structure of the fillet surface; a - bright field; b – dark field obtained in coinciding reflections of $[110]\alpha\text{-Fe}$ and $[211]\text{Fe}_3\text{C}$; c – microelectron diffraction pattern (the arrow indicates the reflection in which the dark field was obtained)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проанализированы структура, фазовый состав и дефектная субструктура поверхности выкружки рельсов категории ДТ400ИК после пропущенного тоннажа 187 млн. тонн. Представлены основные механизмы разрушения пластин цементита: разрезание дислокациями и вынос атомов углерода из цементита и проведено сравнение с известными литературными данными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Structure and properties of lengthy rails after extreme long-term operation / A.A. Yuriev [et al.] Millersville, PA, USA: Materials Research Forum LLC, 2021.
2. Shear-induced $\alpha \rightarrow \gamma$ transformation in nanoscale Fe–C composite / Yu. Ivanisenko [et al.] // Acta Materialia. 2006. V. 54. P. 1659–1669. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2005.11.034>.
3. The mechanical properties of the nanocrystalline layer on the surface of railway tracks / W. Lojowski [et al.] // Materials Science and

РАЗРУШЕНИЕ ПЛАСТИНЧАТОГО ПЕРЛИТА В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ ГОЛОВКИ РЕЛЬСОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Engineering: A. 2003. V. 303. № 1–2. P. 209–215. [https://doi.org/10.1016/S0921-5093\(00\)01948-1](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(00)01948-1).

4. Nanostructure formation on the surface of railway tracks / W. Lojkowski [et al.] // *Materials Science and Engineering: A*. 2001. V. 303. P. 197–208.

5. Ivanisenko Yu., Fecht H.J. Microstructure modification in the surface layers of railway rails and wheels: effect of high strain rate deformation // *Steel Tech*. 2008. V. 3. № 1. P. 19–23.

6. Takahashi J., Kawakami K., Ueda M. Atom probe tomography analysis of the white etching layer in a railtrack surface // *Acta Materialia*. 2010. V. 58. P. 3602–3612. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2010.02.030>.

7. Деформационное преобразование структуры и фазового состава поверхности рельсов при сверхдлительной эксплуатации / В.Е. Громов [и др.] // *Деформация и разрушение материалов*. 2022. № 1. С. 35–39. DOI: 10.31044/1814-4632-2022-1-35-39.

8. Gavrilyuk V.G. Decomposition of cementite in pearlitic steel due to plastic deformation // *Materials Science and Engineering: A*. 2003. V. 345. P. 81–89. [https://doi.org/10.1016/S0921-5093\(02\)00358-1](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(02)00358-1).

9. Newcomb S.B., Stobbs W.M. A transmission electron microscopy study of the white-etching layer on a railhead // *Materials Science and Engineering*. 1984. V. 66. P. 195–204.

10. Ishida M. Rolling contact fatigue (RCF) defects of rails in Japanese railways and its mitigation strategies // *Electronic Journal of Structural Engineering*. 2013. V. 13. P. 67–74. <https://doi.org/10.56748/ejse.131621>.

11. Steenbergen M., Dollevoet R. On the mechanism of squat formation on train rails: Part I. Origination // *International Journal of Fatigue*. 2013. V. 47. P. 361–372. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2012.04.023>.

12. Carroll R.J., Beynon J.H. Rolling contact fatigue of white layer. Crock morphology // *Wear*. 2007. V. 262. P. 1253–1266. doi : 10.1016/j.wear.2007.01.003.

13. Градиенты структуры, фазового состава и дислокационной субструктуры рельсов при сверхдлительной эксплуатации / Р.В. Кузнецов [и др.] // *Известия Алтайского государственного университета*. 2022. № 1. С. 44–50. [https://doi.org/10.14258/izvasu\(2022\)1-06](https://doi.org/10.14258/izvasu(2022)1-06).

14. Формирование тонкой структуры перлитной стали при сверхдлительной пластической деформации / К.В. Григорович [и др.] // *Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки*. 2022. Т. 503. С. 8–12. DOI : 10.31857/S2686740022020079.

15. Egerton F.R. *Physical Principles of Electron Microscopy*. Basel: Springer International Publishing, 2016.

16. Kumar C.S.S.R. *Transmission Electron Microscopy. Characterization of Nanomaterials*. New York: Springer, 2014.

17. Carter C.B., Williams D.B. *Transmission Electron Microscopy*. Berlin: Springer International Publishing, 2016.

18. Конева Н.А., Козлов Э.В. Дислокационная структура и физические механизмы упрочнения металлических материалов // *Перспективные материалы. Структура и методы исследования* :

учеб. пособие / Под ред. Д.Л. Меерсона. Тула : ТГУ. М. : МИСиС. 2006. С. 267–320.

19. Физика и механика волочения и объемной штамповки / В.Е. Громов [и др.]. М., Недра, 1997.

20. Tsellermaer V.Y. Substructural and phase transformations during intense plastic deformation of metals // *Steel in Translation*. 1999. V. 29. № 12. P. 75–81.

21. Эволюция тонкой структуры и свойств металла рельсов при длительной эксплуатации / В.Е. Панин [и др.] // *Физическая мезомеханика*. 2020. Т. 23. № 5. С. 85–94. DOI : 10.24411/1683-805X-2020-15007.

22. Панин В.Е., Егорушкин В.Е., Панин А.В. Нелинейные волновые процессы в деформируемом твердом теле как многоуровневой иерархически организованной системе // *УФН*. 2012. Т. 182. № 12. С. 1351–1357. <https://doi.org/10.3367/UFNr.0182.201212i.1351>.

23. Роль кривизны решетки в деградации структуры поверхностного слоя металла рельсов при длительной эксплуатации / В.Е. Панин [и др.] // *Доклады РАН. Физика, технические науки*. 2020. Т. 494. С. 68–71. DOI : 10.31857/S2686740020050144.

24. Рыбин В.В. *Большие пластические деформации и разрушение металлов*. М. : Металлургия, 1986.

Информация об авторах

Ю. Ф. Иванов – доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Института Сильноточной электроники СО РАН.

В. Е. Громов – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой естественнонаучных дисциплин им. проф. В.М. Финкеля Сибирского государственного индустриального университета.

М. А. Порфирьев – аспирант кафедры естественнонаучных дисциплин им. проф. В.М. Финкеля, научный сотрудник управления научных исследований Сибирского государственного индустриального университета.

Р. Е. Крюков – доктор технических наук, доцент кафедры металлургии черных металлов Сибирского государственного индустриального университета.

В. В. Шляров – аспирант кафедры естественнонаучных дисциплин им. проф. В.М. Финкеля.

REFERENCES

1. Yuriev, A.A., Ivanov, Yu.F., Gromov, V.E., Rubannikova, Yu.A., Starostenkov, M.D. & Tabakov, P.Y. (2021). Structure and properties of lengthy rails after extreme long-term operation. Millersville, PA, USA: Materials Research Forum LLC.

2. Ivanisenko, Yu., MacLaren, I., Sauvage, X., Valiev, R.Z. & Fecht, H.-J. (2006). Shear-induced $\alpha \rightarrow \gamma$ transformation in nanoscale Fe-C composite. *Acta Materialia*, (54), 1659-1669. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2005.11.034>.

3. Lojkowski, W., Millman, Y., Chugunova, S.I., Goncharova, I.V., Djahanbakhsh, M., Bürkle, G. & Fecht, H.-J. (2003). The mechanical properties of the nanocrystalline layer on the surface of railway tracks.

- Materials Science and Engineering: A.* (303-1-2), 209-215. [https://doi.org/10.1016/S0921-5093\(00\)01948-1](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(00)01948-1).
4. Lojowski, W., Djahanbakhsh, M., Bürkle, G., Gierlotka, S., Zielinski, W. & Fecht, H.-J. (2001). Nanostructure formation on the surface of railway tracks. *Materials Science and Engineering: A.* (303), 197-208.
5. Ivanisenko, Yu. & Fecht, H.J. (2008). Microstructure modification in the surface layers of railway rails and wheels: effect of high strain rate deformation. *Steel Tech.* (3-1), 19-23.
6. Takahashi, J., Kawakami, K. & Ueda, M. (2010). Atom probe tomography analysis of the white etching layer in a railtrack surface. *Acta Materialia.* (58), 3602-3612. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2010.02.030>.
7. Gromov, V.E., Ivanov, Yu.F., Kuznetsov, R.V., Glezer, A.M., Shlyarova, Yu.A. & Peregudov, O.A. (2022). Deformation transformation of structure and phase composition of rail surface during ultra-long operation. *Deformation and destruction of materials.* (1), 35-39. (In Russ.). DOI : 10.31044/1814-4632-2022-1-35-39
8. Gavriluyuk, V.G. (2003). Decomposition of cementite in pearlitic steel due to plastic deformation. *Materials Science and Engineering: A.* (345), 81-89. [https://doi.org/10.1016/S0921-5093\(02\)00358-1](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(02)00358-1).
9. Newcomb, S.B. & Stobbs, W.M. (1984). A transmission electron microscopy study of the white-etching layer on a railhead. *Materials Science and Engineering.* (66), 195-204.
10. Ishida, M. (2013). Rolling contact fatigue (RCF) defects of rails in Japanese railways and its mitigation strategies. *Electronic Journal of Structural Engineering.* (13), 67-74. <https://doi.org/10.56748/ejse.131621>.
11. Steenbergen, M. & Dollevoet, R. (2013). On the mechanism of squat formation on train rails: Part I. Origination. *International Journal of Fatigue.* (47), 361-372. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2012.04.023>.
12. Carroll, R.J. & Beynon, J.H. (2007). Rolling contact fatigue of white layer. *Crock morphologie. Wear.* (262), 1253-1266. doi : 10.1016/j.wear.2007.01.003.
13. Kuznetsov, R.V., Gromov, V.E., Ivanov, Yu.F., Kormyshev, V.E., Shlyarova, Yu.A. & Yuriev, A.A. (2022). Gradients of Structure, Phase Composition, and Dislocation Substructure of Rails under the Ultra Long-Term Operation. *Izvestiya of Altai State University.* (1), 44-50. [https://doi.org/10.14258/izvasu\(2022\)1-06](https://doi.org/10.14258/izvasu(2022)1-06).
14. Grigorovich, K.V., Gromov, V.E., Kuznetsov, R.V., Ivanov, Yu.F. & Shlyarova, Yu.A. (2022). Formation of fine structure of pearlite steel under ultra-long plastic deformation. *Doklady Physics.* (503), 8-12. DOI : 10.31857/S2686740022020079.
15. Egerton, F.R. (2016). *Physical Principles of Electron Microscopy.* Basel: Springer International Publishing.
16. Kumar, C.S.S.R. (2014). *Transmission Electron Microscopy. Characterization of Nanomaterials.* New York: Springer.
17. Carter, C.B. & Williams, D.B. (2016). *Transmission Electron Microscopy.* Berlin: Springer International Publishing.
18. Koneva, N.A. & Kozlov, E.V. (2006). *Dislocation structure and physical mechanisms of hardening of metallic materials / Perspektivnye materialy. Structure and methods of research (textbook) / Ed. D.L. Meyerson.* Tula: TSU, M. : MISiS.
19. Gromov, V.E., Kozlov, E.V., Bazaikin, V.I. & Ivanov, Yu.F. (1997). *Physics and mechanics of drawing and forging.* M., Nedra.
20. Tsellermaer, V.Y. (1999). Substructural and phase transformations during intense plastic deformation of metals. *Steel in Translation.* (29-12), 75-81.
21. Панин, В.Е., Иванов, Ю.Ф., Юрьев, А.А. Эволюция тонкой структуры и свойств металла рельсов при длительной эксплуатации. *Физическая мезомеханика* 23, 5 (2020). С. 85-94.
22. Панин, В.Е., Егорушкин, В.Е., Панин, А.В. Нелинейные волновые процессы в деформируемом твердом теле как многоуровневой иерархически организованной системе // УФН. 2012. Т. 182, № 12. С. 1351-1357.
23. Панин, В.Е., Громов, В.Е., Иванов, Ю.Ф., Юрьев, А.А., Кормышев, В.Е. Роль кривизны решетки в деградации структуры поверхностного слоя металла рельсов при длительной эксплуатации // Докл. РАН. Физика, технические науки. 2020. Т. 494. С. 68-71.
24. Рыбин, В.В. Большие пластические деформации и разрушение металлов. М. : Металлургия, 1986.

Information about the authors

Yu. F. Ivanov - Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Institute of High Current Electronics SB RAS.

V. E. Gromov - Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of the Department of Natural Sciences named after prof. V.M. Finkel, Siberian State Industrial University.

M. A. Porfiriev - Researcher, Department of Scientific Research, Siberian State Industrial University.

R. E. Kryukov - Doctor of Technical Sciences, associate Professor, Department of Ferrous Metallurgy, Siberian State Industrial University.

V. V. Shlyarov - Post-graduate student of the Department of Natural Sciences named after prof. V.M. Finkel, Researcher at the Laboratory of Electron Microscopy and Image Processing (EM&OP), Siberian State Industrial University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 16 марта 2023; одобрена после рецензирования 18 сентября 2023; принята к публикации 20 ноября 2023.

The article was received by the editorial board on 16 Mar 2023; approved after editing on 18 Sep 2023; accepted for publication on 20 Nov 2023.



Научная статья

2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов (технические науки)

УДК 549:54.055

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.025



ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК ER И HF НА ЛИТУЮ МИКРОСТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОМАГНИЕВОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 1590, ЭКОНОМНО ЛЕГИРОВАННОГО СКАНДИЕМ

Александр Алексеевич Рагазин ¹, Евгений Владимирович Арышенский ²,
Владимир Юрьевич Арышенский ³, Александр Михайлович Дриц ⁴,
Сергей Валерьевич Коновалов ⁵

^{1,3,4,5} Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия

^{2,5} Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия

¹ aleksander.ragazin@samara-metallurg.ru, 0000-0002-6762-7436

² arishenskiy_ev@sibsiu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3875-7749>

³ arysh54@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6869-4764>

⁴ dritsam@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9468-8736>

⁵ konovalov@sibsiu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4809-8660>

Аннотация. Работа посвящена исследованию влияния эрбия и гафния на литую микроструктуру высокомагниевого сплава 1590 с экономным скандиевым легированием. В качестве эксперимента были отобраны 9 вариантов слитков, которые содержали гафний и эрбий. Установлено, что в сплаве 1591 без добавок гафния и эрбия образуется дендритная структура с размером зерна ≈ 373 мкм. При добавлении в сплав 1590 гафния и эрбия зерно начинает измельчаться. При содержании Hf и Er в количестве 0,16 (% вес) в 1590 образуется мелкозернистая недендритная структура с размерами зерен 32–38 мкм. Кроме того, добавление данных элементов приводит к росту количества и размеров интерметаллидов Al₃Sc, которые, в свою очередь, вызывают модификацию литой структуры. Основное объяснение этому заключается в том, что Er и Hf так же, как цирконий, уменьшают концентрацию скандия, необходимую для формирования первичных интерметаллидов типа Al₃Sc. В то же время измельчение зерна не приводит к росту прочностных свойств и снижает пластические, это происходит из-за большого количества упомянутых выше интерметаллидов.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, микроструктура, гафний, эрбий, скандий, интерметаллиды, кристаллизация, механические свойства.

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00810, <https://rscf.ru/project/22-19-00810/>.

Для цитирования: Изучение влияния добавок Er и Hf на литую микроструктуру и механические свойства высокомагниевого алюминиевого сплава 1590, экономно легированного скандием / А. А. Рагазин [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 4, С. 199–207. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.025. EDN: <https://elibrary.ru/VBINRL>.

Original article

STUDY OF ER AND HF ADDITIONS EFFECT ON AS-CAST MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF 1590 MAGNESIUM-RICH ALUMINUM ALLOY WITH LEAN SCANDIUM ADDITION

Alexander A. Ragazin ¹, Evgenii V. Aryshenskii ², Vladimir Yu. Aryshenskii ³,
Alexander M. Drits ⁴, Sergei V. Konvalov ⁵

© Рагазин А. А., Арышенский Е. В., Арышенский В. Ю., Дриц А. М., Коновалов С. В., 2023

^{1, 3, 4, 5} Samara National Research University, Samara, Russia

^{2, 5} Siberian State Industrial University, Novokuzneck, Russia

¹ aleksander.ragazin@samara-metallurg.ru, 0000-0002-6762-7436

² arishenskiy_ev@sibsiu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3875-7749>

³ arysh54@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6869-4764>

⁴ dritsam@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9468-8736>

⁵ konovalov@sibsiu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4809-8660>

Abstract. *The study addresses the effect of erbium and hafnium on as-cast microstructure of 1590 magnesium-rich alloy with lean scandium addition. 9 ingots modifications with different hafnium and erbium contents have been cast in a steel mold for the study purposes. It is established, that dendritic structure with $\approx 373 \mu\text{m}$ grain size forms in 1591 alloy without hafnium and erbium additions. 1590 alloy grain refinement starts upon hafnium and erbium addition. At 0.16 (% weight) Hf and Er content fine grain (with $32\text{--}38 \mu\text{m}$ grain size) non-dendritic structure forms in 1590 alloy. Besides, such elements addition causes Al_3Sc intermetallic compound amount and size increase, thus leading to as-cast structure modification. This is mainly explained by the capability of Er and Hf, similarly to zirconium, to reduce concentration of scandium, required for Al_3Sc -type primary intermetallic compounds forming. At the same time grain refinement does not lead to strength improvement and deteriorates plastic properties due to large amount of the above intermetallic compounds.*

Keywords: aluminum alloys, microstructure, hafnium, erbium, scandium, intermetallic compounds, crystallization, mechanical properties.

Acknowledgements: *The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation № 22-19-00810, <https://rscf.ru/project/22-19-00810/>.*

For citation: Ragazin, A. A., Aryshenskii, E. V., Aryshenskii, V. Yu., Dritz, A. M. & Konovalov, S. V. (2023). Study of Er and Hf additions effect on as-cast microstructure and mechanical properties of 1590 magnesium-rich aluminum alloy with lean scandium addition. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 199-207. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.025. EDN: <https://elibrary.ru/VBINRL>.

ВВЕДЕНИЕ

Алюминиевые сплавы являются неотъемлемой частью современной промышленности, где требуется низкий вес, приемлемые прочностные свойства и высокая коррозионная стойкость [1, 2, 3]. Сплавы системы Al–Mg являются одними из самых востребованных современной промышленностью алюминиевых сплавов [4]. Добавки магния ведут к твердорастворному упрочнению, тем самым положительно влияя на механические свойства [5, 6]. Повысить прочностные характеристики алюминиевых сплавов возможно за счет легирования малых добавок Sc, которые улучшают прочность. За счет его введения значительно модифицируется литая структура, а кроме того, происходит выпадение из пересыщенного твердого раствора упрочняющей фазы Al_3Sc [7]. Стоит отметить, что измельчение зерна, в том числе и в литой структуре, в целом положительно влияет на механические свойства [8].

Другие переходные элементы, такие как цирконий, гафний и эрбий, также являются хорошими модификаторами литой структуры алюминиевых сплавов [9–11]. При совместном добавлении скандия с цирконием значительно увеличивается эффективность дробления литой структуры [12]. Как показали дальнейшие исследования, основная причина заключается в том, что их совместное ле-

гирование снижает концентрацию этих переходных элементов, необходимых для появления в жидкости первичных интерметаллидов [13, 14]. Гафний и эрбий имеют ряд схожих свойств со скандием и цирконием. Например, их алюминиды имеют высокий уровень кристаллографического соответствия с алюминиевой матрицей. Возможно, что совместное использование Hf и Er будет усиливать способности друг друга к модификации, в том числе и у скандия и циркония. Однако данный вопрос не исследован в литературе, в том числе и для алюминиевых сплавов системы Al–Mg. Таким образом, целью данного исследования является изучение влияния совместных Sc, Zr, Hf, Er добавок на измельчение литой структуры в алюминиевых сплавах с высоким содержанием магния.

МЕТОДЫ

Для исследования был выбран сплав 1590, содержащий Sc, Zr, Er и Hf. Для изучения влияния содержания элементов в литой структуре 1590 использовалась таблица № 1. За основу была выбрана модификация 1590, не содержащая скандия (далее 1591). Масса отливаемого слитка составляла 3 кг. В процессе исследования к базовому сплаву были добавлены эрбий в количестве 0,03–0,16 % вес. и гафний в количестве 0,05–0,16% вес. для изучения зеренной структуры отливки.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК ER И HF НА ЛИТУЮ МИКРОСТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОМАГНИЕВОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 1590, ЭКОНОМНО ЛЕГИРОВАННОГО СКАНДИЕМ

Опытные плавки проводились на индукционной печи средней частоты емкостью 10 кг.

В качестве шихтовых материалов для приготовления опытных сплавов использовались следующие шихтовые материалы: первичный алюминий марки А85, магний первичный марки МГ90, цинк марки Ц1, лигатура марок Al-Mn10, Al-Zr5, Al-Sc2, Al-Er5, Al-Hf2.

Все шихтовые материалы перед загрузкой в печь взвешивались на электронных весах МЕХЭЛЕКТРОН-М ВР4900 до 15 кг с погрешностью 5 г и на электронных весах МИДЛЕНА 251 до 500 г с погрешностью 0,1 г.

Загрузка шихтовых материалов в печь производилась вручную. В первую очередь производилась загрузка первичного алюминия и его плавление. После плавления первичного алюминиевого сплава при температуре 730 °С с поверхности расплава удалялся

шлак. Далее расплав нагревался до температуры 770–790 °С и производилась присадка лигатур Al-Sc2, Al-Hf-2, AlZr5, Al-Mn10 порциями по 300 г с последующим перемешиванием и выдержкой расплава в течение 5 мин. После присадки всей рассчитанной лигатуры расплав охлаждался до температуры 740 °С, и производилась присадка легирующих компонентов (Mg, Zn) по расчету. Далее производилось перемешивание расплава в течение 3-х минут с последующим нагревом расплава до температуры 740 °С и осуществлялся отбор пробы на экспресс-анализ химического состава плавки. Результаты химического состава всех опытных плавков представлены в таблице 1.

Литье слитков производилось в стальной со скоростью кристаллизации 10 °С/сек.

Таблица 1 – Химический состав исследуемых сплавов

Table 1 – Chemical composition of the studied alloys

Сплав	Массовая доля элементов, %								
	Si	Fe	Mn	Mg	Zn	Zr	Sc	Er*	Hf*
№ 1	0,04	0,07	0,4	5,5	0,22	0,1	0,14	0,1	0,05
№ 2	0,03	0,06	0,42	5,54	0,2	0,1	0,14	–	–
№ 3	0,04	0,07	0,41	5,54	0,2	0,1	0,14	0,03	0,05
№ 4	0,04	0,07	0,41	5,58	0,2	0,1	0,14	0,03	0,1
№ 5	0,05	0,08	0,41	5,58	0,2	0,1	0,14	0,03	0,16
№ 6	0,04	0,07	0,41	5,57	0,2	0,1	0,14	0,1	0,05
№ 7	0,05	0,08	0,41	5,53	0,2	0,1	0,14	0,1	0,1
№ 8	0,05	0,08	0,41	5,57	0,2	0,1	0,14	0,1	0,16
№ 9	0,04	0,07	0,41	5,55	0,2	0,1	0,14	0,16	0,05
№ 10	0,05	0,08	0,42	5,56	0,2	0,1	0,14	0,16	0,1
№ 11	0,05	0,09	0,41	5,58	0,2	0,1	0,14	0,16	0,16

* – Указанное в таблице содержание Er, Hf согласно расчету.

Микроструктура выявлялась следующим образом: обработка поверхности на токарном станке, далее механическое полирование на автоматическом шлифовально-полировальном станке с последующим выявлением зерна. Электрополирование в фтороборном электролите состава: борная кислота – 11 г, фтористоводородная кислота – 30 мл, вода дистиллированная – 220 мл. Через электролит пропускают постоянный ток. Температура электролита – 20 °С, напряжение 30 В, время: 10–60 секунд. Время электрополирования выбирается по степени полируемости. При необходимости проводят повторное полирование. Зеренную структуру образцов исследовали на оптическом микроскопе Carl Zeiss Axiovert-40 MAT. Для каждого образца методом секущих ГОСТ 21073.2 измеряли средний размер зерна. Исследование интерметаллидных и дисперсоидных частиц проводи-

лось на сканирующем растровом микроскопе FEI Quanta Inspect S.

Для исследования химического состава интерметаллидных частиц состава проводилась полировка образцов с высокой чистотой. После полировки образцы исследовали на отражение на электронном микроскопе FEI Quanta Inspect S, с увеличением в 300 (интерметаллиды) и 10000 (мелкодисперсные интерметаллиды) раз.

Образцы фотографировали с помощью растрового электронного микроскопа на датчике упруго-отражённых электронов BSE, далее картинки переносились в программу Image Score. С помощью этой программы изображение еще раз обрабатывалось до нужного контраста подложки и фаз, чтобы программа смогла их отличить по контрасту. После проделанных операций программа Image J подсчитывала количество фаз в процентах относительно подложки. Для каждого

случая приводилось 10 съемок для набора статистики, необходимого для более точного определения размеров и распределения частиц второй фазы. Расчет фаз происходил с разным увеличением, что позволило исследо-

вать как крупные интерметаллидные частицы, так и мелкодисперсные интерметаллидные частицы.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Зеренная структура

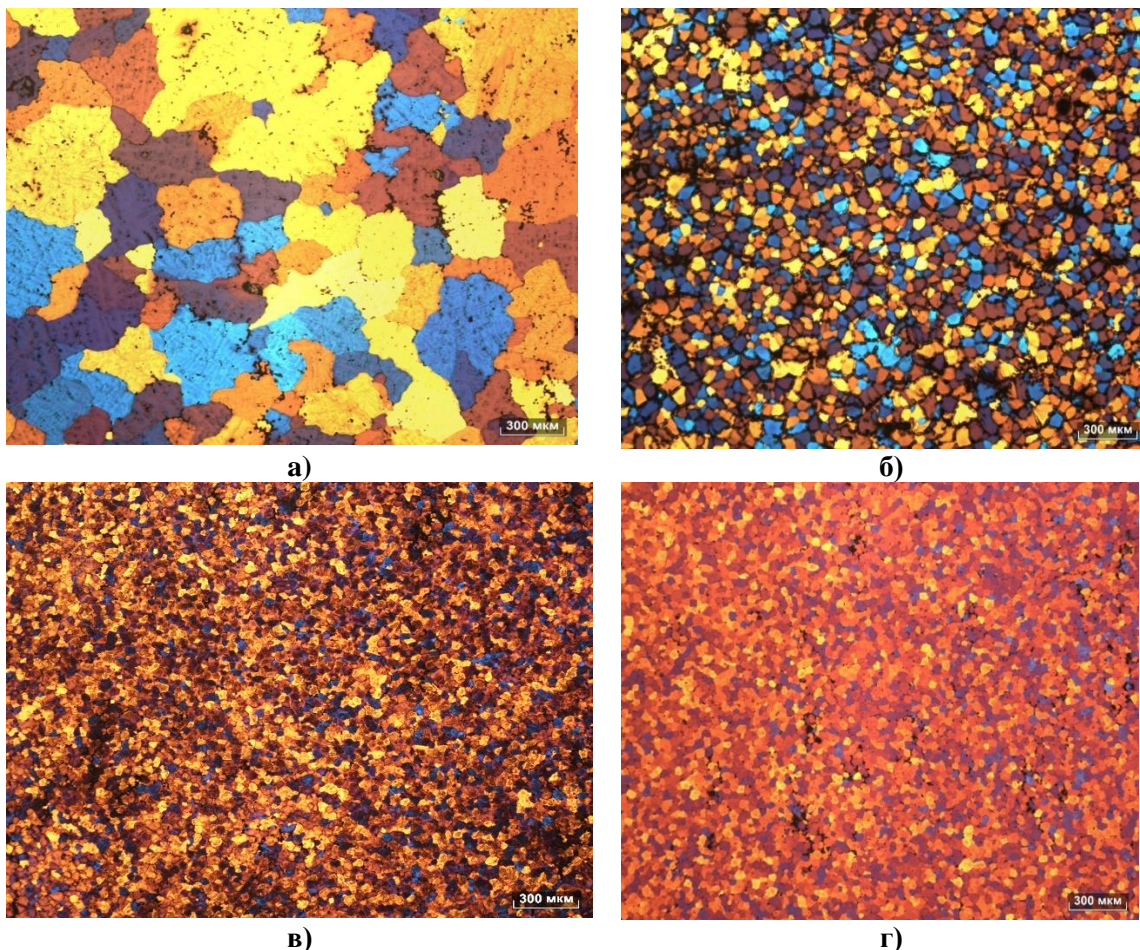


Рисунок 1 – Микроструктура исследуемых образцов из сплавов а) №1, б) №3; в) №5; г) №9
 Figure 1 – Microstructure of the investigated samples from alloys а) №1, б) №3; в) №5; г) №9

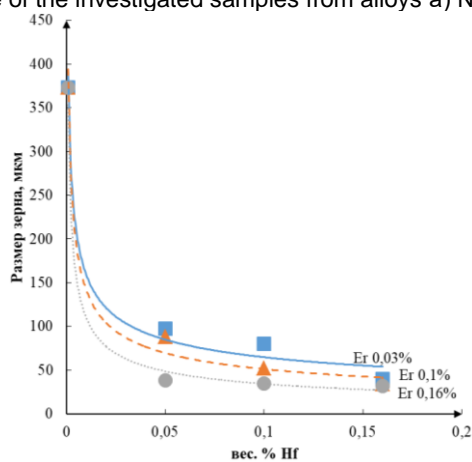


Рисунок 2 – Зависимость размера зерна от количества легирующих компонентов на образцах, отлитых в стальной кокиль

Figure 2 – The dependence of the grain size on the amount of alloying components on the samples cast in steel coquille.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК ER И HF НА ЛИТУЮ МИКРОСТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОМАГНИЕВОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 1590, ЭКОНОМНО ЛЕГИРОВАННОГО СКАНДИЕМ

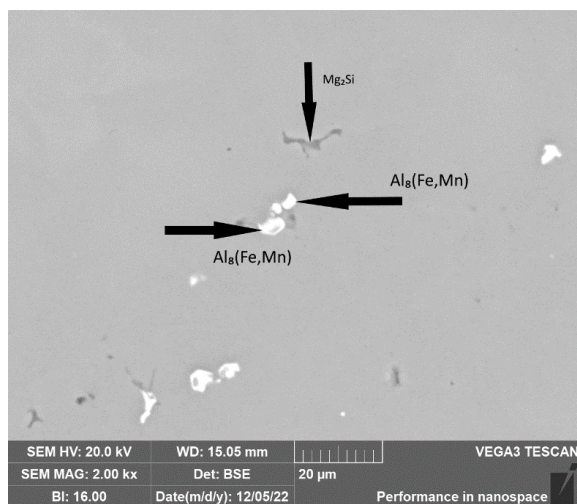
На образце без легирования гафнием и эрбием выявлена дендритная структура с размером зерна 373 мкм. При легировании сплава 1591 эрбием 0,03 % и гафнием 0,05 % происходит модифицирование литой структуры с 373 мкм до 97 мкм. С увеличением содержания гафния в сплаве до 0,1 % и 0,16 % и содержания эрбия 0,03 % средний размер зерна уменьшается до 52 мкм и 32 мкм соответственно. При содержании гафния 0,05 % и эрбия 0,1 % и 0,16 % средний размер зерна равен 80 мкм и 35 мкм соответственно. При содержании гафния и эрбия 0,1 %, и 0,16 % средний размер зерна становится равен 88 мкм и 35 мкм соответственно. Таким образом, можно сделать выводы, что с добавле-

нием гафния и эрбия происходит модифицирование литой структуры от 3 до 10 раз. При этом самая мелкозернистая структура наблюдается в сплавах № 5, № 9, № 11.

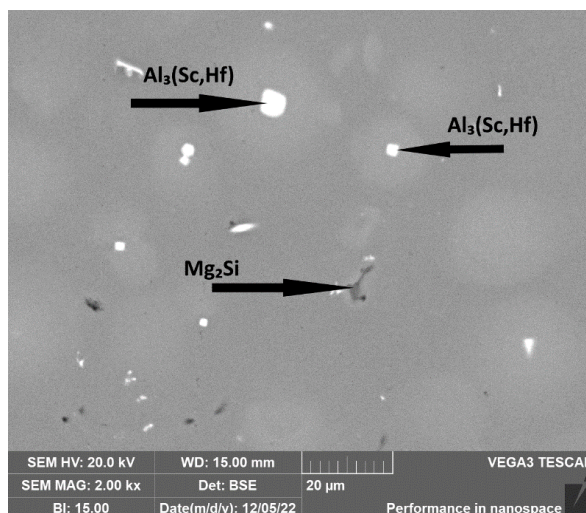
На рисунке 1 приведена зависимость размера зерна от общего количества элементов. Исходя из полученных графиков, можно сделать вывод, что гафний и эрбий являются эффективными модификаторами. С помощью регрессионного анализа получена аналитическая запись зависимости размеров зерна (D , мкм) относительно количества исследуемых РЗМ в сплаве по формуле:

$$D = 2,782 * (\text{вес. \% Hf})^{-0,2317} * (\text{вес. \% Er})^{-0,2285}$$

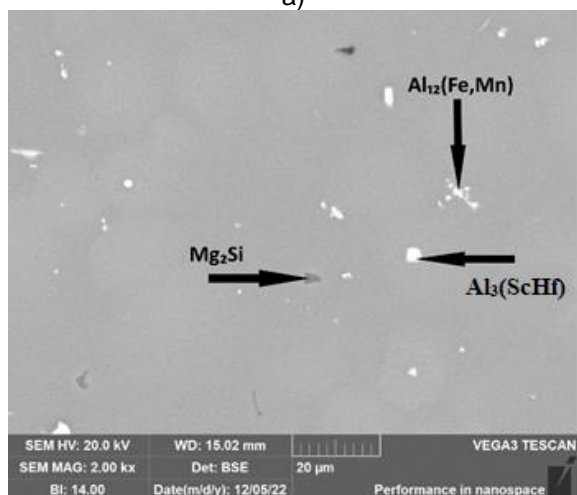
Интерметаллидные частицы



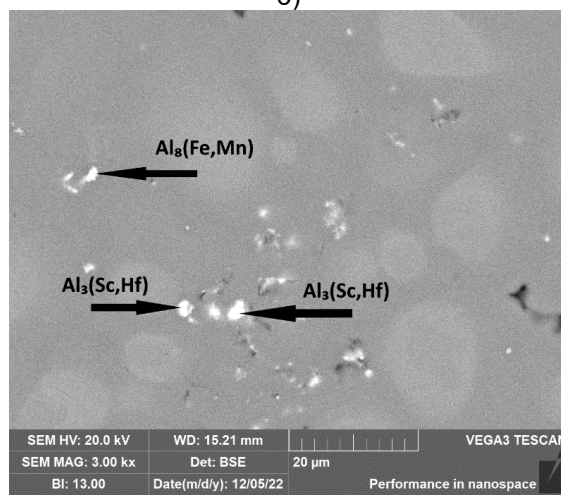
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3 – Химический состав крупных интерметаллидных частиц в образцах, отлитых в стальной кокиль а) № 3; б) № 5; в) № 9; г) № 11

Figure 3 – Chemical composition of large intermetallic particles in samples cast in steel coquille а) №3; б) №5; в) №9; г) №11

Таблица 2 – Химический состав крупных интерметаллидных частиц, ат. %

Table 2 – Chemical composition of large intermetallic particles, at. %

Интерметаллидные частицы	Хим. состав						
	Al	Mg	Mn	Fe	Si	Sc	Hf
Al ₈ (Fe,Mn)	78.04	–	8.9	5.6	–	–	–
Al ₁₂ (Fe,Mn)	85.28	–	7.47	6.12	–	–	–
Mg ₂ Si	66.37	22.61	–	–	10.05	–	–
Al ₃ (Sc,Hf)	71.06	–	–	–	–	11.85	8.94

В ходе исследования было выявлено отсутствие гафния и эрбия в составе сплава, содержащего первичные интерметаллиды. В тоже время наблюдаются типичные для данной группы алюминиевых сплавов интерметаллиды, которые можно отнести к Mg₂Si и Al₆(FeMn) [15] (здесь и далее химический состав интерметаллидов см. в таблице № 2). Отсутствие первичных, содержащих скандий, интерметаллидов приводит к тому, что измельчение зеренной структуры не происходит. С увеличением содержания гафния и эрбия выявлены интерметаллиды, которые, основываясь на их морфологии и химическом составе, можно отнести к Al₃Sc [16]. Данные также содержат в себе гафний и цирконий, ввиду большой растворимости последнего (до 36 % и 35 % соответственно) в фазе Al₃Sc [17, 18]. Стоит отметить, что первичных интерметаллидов с содержанием эрбия при помощи сканирующей микроскопии не выявлено. В тоже время его введение косвенно способствует увеличению количества и размеров интерметаллидов типа Al₃Sc, что и приводит к росту зерна.

интерметаллидов показывает, что для сплава без добавок гафния и эрбия средний диаметр интерметаллидной частицы составляет 14 мкм, а их удельный объем – 0,43 %. Стоит отметить, что данные результаты являются базовыми, поскольку средний диаметр интерметаллидов является наибольшим из всех представленных, а их удельный объем показывает минимальное значение среди всех исследуемых сплавов. При содержании гафния до 0,05 % и эрбия 0,03 средний размер первичных интерметаллидов составил 4,0 мкм и удельным объемом 0,61 %. С увеличением гафния до 0,16 % происходит увеличение как среднего размера интерметаллидов до 5,7 мкм, так и удельного объема до 0,67 %. В сплаве № 9 средний размер первичных интерметаллидов увеличивается до 6,2 мкм, а также их удельный объем до 0,73 %. С максимальным содержанием гафния и эрбия в сплаве до 0,16 % наблюдается максимальный размер первичных интерметаллидов 9,3 мкм, а также удельный объем до 1,22 %. Отметим, что рост количества и увеличение размеров интерметаллидов происходит в основном за счет Al₃Sc.

В целом, анализ размера и количества

Механические свойства

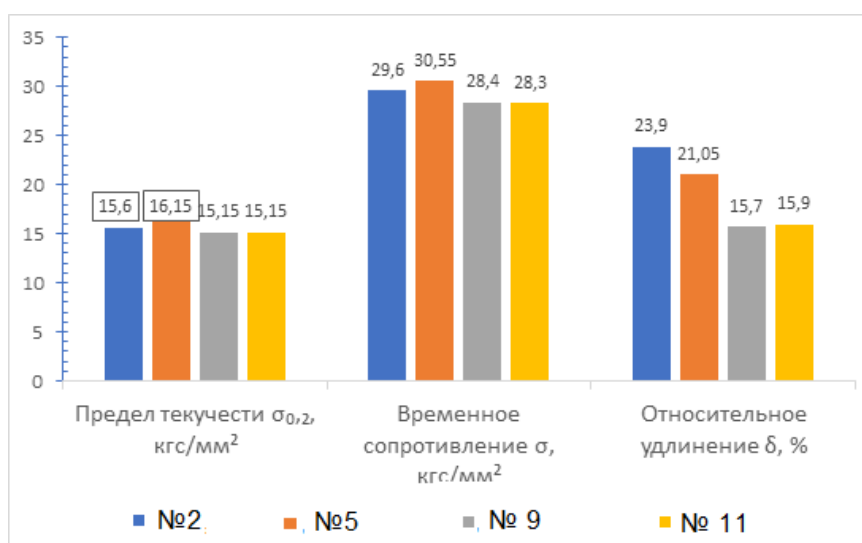


Рисунок 4 – Механические свойства отливки сплавов № 2, № 5, № 9, № 11 при температуре 20 °С

Figure 4 – Mechanical properties of casting alloys No. 2, No. 5, No. 9, No. 11 at a temperature of 20°C

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК ER И HF НА ЛИТУЮ МИКРОСТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОМАГНИЕВОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 1590, ЭКОНОМНО ЛЕГИРОВАННОГО СКАНДИЕМ

Результаты испытаний механических свойств представлены на рисунке 3. Согласно полученным данным, изменение химического состава и размера зерна не сильно влияет на прочностные свойства, несмотря на измельчения зерна, вызывая лишь небольшой рост в сплаве с содержанием 0,03Er, 0,16Hf. Отметим, что согласно эффекту Холла-Петча это должно привести к улучшению прочностных свойств, но в данном случае такого улучшения не происходит. Такой эффект объясняется наличием крупных интерметаллидных частиц, являющихся концентраторами разрушения [8] и снижающих прочностные свойства. Поэтому эффект повышения прочностных свойств из-за наличия мелкозернистой структуры будет нивелироваться вследствие образования большого числа первичных интерметаллидных частиц. Необходимо отметить, что при увеличении содержания Hf и Er пластичность снижается особенно сильно за счет содержания в нем упомянутых выше частиц.

ОБСУЖДЕНИЕ

Таким образом, из полученных результатов прямо следует, что добавки Er и Hf приводят к измельчению зерна и росту количества первичных интерметаллидных частиц типа Al₃Sc. Для того чтобы объяснить эффект влияния Er и Hf на измельчение литой структуры сплава 1590, необходимо еще раз отметить, что Er и Hf сами по себе являются эффективными измельчителями литой структуры. Однако [20] первичные интерметаллиды Al₃Er будут появляться при его концентрации 1 %, а Al₃Hf – при концентрации гафния 1 % [21]. Необходимо отметить, что кристаллизация металла в стальном кокиле проходит в неравновесных условиях, и первичные интерметаллиды Al₃Er, Al₃Hf будут возникать при более низких концентрациях эрбия и гафния, о чем свидетельствуют фазовые диаграммы.

Однако даже в этом случае содержание Er и Hf достаточно мало для формирования первичных интерметаллидов. Так, их концентрация не превышает 0,16 %, и для формирования первичных интерметаллидов нужны значительно большие скорости кристаллизации, чем при литье в стальной кокиль. Сказанное выше также подтверждает отсутствие интерметаллидов в литой микроструктуре исследуемых сплавов при добавках туда гафния и эрбия. Наличие в интерметаллидах Al₃Sc, как уже отмечалось, объясняется его частичной растворимостью в данной фазе.

В то же время, находясь в жидком растворе, гафний и эрбий могут способствовать

измельчению литой структуры. Это может происходить из-за вызываемого ими переохлаждения между твердой и жидкой фазой. Однако влияния переохлаждения недостаточно, чтобы полностью обеспечить наблюдаемое в данной работе измельчение зерна.

Стоит отметить, что в отличие от системы Al-Sc-Zr, в настоящее время не существует поверхностей ликвидуса для систем Al-Sc-Hf и Al-Sc-Er. Основываясь на анализе результатов количества интерметаллидных частиц, близких к Al₃Sc, приводящих к измельчению литой структуры, можно предположить, что они так же, как цирконий, снижают концентрацию скандия, необходимую для формирования первичных интерметаллидов. Это обоснование наиболее вероятное и подкреплено увеличением числа первичных интерметаллидов, таких как Al₃Sc.

Стоит отметить, что положительное влияние на прочностные свойства нивелируется хрупким разрушением, вызываемым формированием интерметаллидов. В то же время получаемая мелкозернистая структура все равно будет играть положительную роль, например, для снижения количества проходов при интенсивной пластической деформации. Добавление слишком большого количества Hf и Er в сплав может значительно ухудшить его пластичность, что создаст препятствия для его возможности деформироваться. Поэтому, осуществив анализ механических свойств, мы можем ограничить содержание таких элементов до 0,03Er и 0,16Hf, чтобы предотвратить серьезное снижение пластичности в результате дальнейшего измельчения зерна.

ВЫВОДЫ

В сплаве 1590, не содержащем гафния и эрбия, наблюдается дендритная структура с размером зерна 373 мкм. При легировании гафнием и эрбием возможно измельчение зерна в литой заготовке сплава 1591 в 10 раз до 32 мкм. Основным механизмом, приводящим к измельчению зерна, является рост количества и размера первичных интерметаллидов типа Al₃Sc, это, вероятно, объясняет тем, что Er и Hf уменьшают концентрацию скандия, необходимую для формирования данных частиц в жидкой фазе. Измельчение зерна не способствует повышению прочности и уменьшает пластичность, так как это приводит к более хрупкому разрушению, вызванному наличием мельчайших частиц. Рекомендуемая концентрация гафния составляет 0,16 %. Дальнейшее повышение его содержания, хотя и будет измельчать зерно, существенно снижает его пластичность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бажин В.Ю., Баранов М.В. Формирование алюминиевой полосы при бесслитковой прокатке // Расплавы. 2005. № 4. С. 55–61.
2. Бажин В.Ю., Баранов М.В. Гибкие фольговые упаковки из алюминиевых сплавов 8XXX и 3XXX // Литейщик России. 2007. № 6. С. 28–31.
3. Бажин В.Ю. Высокопрочные алюминиевые заготовки для получения фольги // Актуальные проблемы современной науки в 21 веке : сборник материалов 3-й Международной научно-практической конференции. Махачкала : ООО Апробация, 2013. С. 18–20.
4. Totten G.E., MacKenzie D.S. Handbook of aluminum: vol. 1: physical metallurgy and processes. CRC press, 2003. Т. 1. 1167 с.
5. Rana R.S., Purohit R., Das S. Reviews on the influences of alloying elements on the microstructure and mechanical properties of aluminum alloys and aluminum alloy composites // International Journal of Scientific and research publications. 2012. Т. 2. № 6. С. 1–7.
6. Sanders R.E., Baumann S.F., Stumpf H.C. Wrought non-heat treatable aluminum alloys // Treatise in Materials Science & Technology. 2012. Т. 31. С. 65.
7. Zakharov V.V. Combined alloying of aluminum alloys with scandium and zirconium // Metal Science and Heat Treatment. 2014. Т. 56. № 5–6. С. 281–286. doi : 281–286. 10.1007/s11041-014-9746-5.
8. William F. Smith, Hashemi J. Foundations of materials science and engineering : Mcgraw-Hill Publishing, 2006. 1016 с.
9. Hafnium in aluminum alloys: a review / Jia Z.H., Huang H.L., Wang X.L., Xing Y., Liu Q. // Acta Metallurgica Sinica (English Letters). 2016. № 29. С. 105–119. doi : 10.1007/s40195-016-0379-0.
10. Grain refinement mechanism of as-cast aluminum by hafnium / Li H.Y., Li D.W., Zhu Z.X., Chen B.A., Xin C.H.E.N., Yang C.L., Wei K.A.N.G. // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. 2016. № 26. С. 3059–3069. doi : 10.1016/S1003-6326(16)64438-2.
11. Effects of erbium modification on the microstructure and mechanical properties of A356 aluminum alloys / Shi Z.M., Wang Q., Zhao G., Zhang R.Y. // Materials Science and Engineering: A 2015. № 626. С. 102–107. doi : 10.1016/j.msea.2014.12.062.
12. Alloying aluminum alloys with scandium and zirconium additives / Davydov V.G., Elagin V.I., Zakharov V.V., Rostoval D. // Metal Science and Heat Treatment. 1996. № 8. С. 347–352. doi : 10.1007/BF01395323.
13. Optimization of hardening of Al–Zr–Sc cast alloys / Belov N.A., Alabin A.N., Eskin D.G., Istomin-Kastrovskii V.V. // Journal of materials science. 2006. № 41. С. 5890–5899. doi : 10.1007/s10853-006-0265-7.
14. Experimental study and thermodynamic modeling of the Al-Sc-Zr system / Bo H., Liu L.B., Hu J.L., Jin Z.P. // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. 2017. № 133. С. 82–92. doi : 10.1016/j.commat.2017.02.029.
15. Engler O., Miller-Jupp S. Control of second-phase particles in the Al-Mg-Mn alloy AA 5083 //

Journal of Alloys and Compounds. 2016. Т. 689. С. 998–1010. doi : 10.1016/j.jallcom.2016.08.070.

16. Norman A.F., Prangnell P.B., McEwen R.S. The solidification behaviour of dilute aluminium–scandium alloys // Acta materialia. 1998. Т. 46. № 16. С. 5715–5732. doi : 10.1016/S1359-6454(98)00257-2.

17. Investigation of the phase relations in the Al-rich alloys of the Al-Sc-Hf system in solid state / Rokhlin, L.L., Bochvar, N.R., Boselli, J. & Dobatkina, T.V. // Journal of phase equilibria and diffusion. 2010. № 31. С. 327–332. doi : 10.1007/s11669-010-9710-z.

18. Røyset J., Ryum N. Scandium in aluminium alloys // International Materials Reviews. 2005. Т. 50. № 1. С. 19–44. doi : 10.1179/174328005X14311.

19. The Al-Er-Mg ternary system part I: experimental investigation / Saccone A., Cacciamani G., De Negri S., Ferro R. // Journal of phase equilibria. 2002. № 1. С. 29–37. doi : 10.1361/105497102770332180.

20. Al-rich portion of the Al-Hf phase diagram / Rokhlin, L.L., Bochvar, N.R., Dobatkina, T.V. & Leont'ev, V.G. // Russian Metallurgy (Metally) 2009. С. 258–262. doi : 10.1134/S0036029509030124.

Информация об авторах

А. А. Рагазин – инженер ОНИЛ № 4 Самарского университета.

Е. В. Арышенский – доктор технических наук, доцент, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории электронной микроскопии и обработки изображений СибГИУ.

В. Ю. Арышенский – доктор технических наук, доцент, научный руководитель ОНИЛ-4 Самарского университета Самарского университета.

А. М. Дриц – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник ОНИЛ № 4 Самарского университета.

С. В. Коновалов – доктор технических наук, профессор, проректор по научной и инновационной деятельности Сибирского государственного индустриального университета; главный научный сотрудник ОНИЛ-4 Самарского университета.

REFERENCES

1. Bazhin, V.Yu. & Baranov, M.V. (2005). Formation of an aluminum strip during ingotless rolling. Melts, (4), 55-61.
2. Bazhin, V.Yu. & Baranov, M.V. (2007). Flexible foil packages made of aluminum alloys 8XXXX and XXX. Foundry of Russia, (6), 28-31.
3. Bazhin, V.Yu. (2013). High-strength aluminum billets for foil production. In Actual Problems of Modern Science in the 21st Century (pp. 18-20).
4. Totten, G.E. & MacKenzie, D.S. (Eds.). (2003). Handbook of aluminum: vol. 1: physical metallurgy and processes (Vol. 1). CRC press.
5. Rana, R.S., Purohit, R. & Das, S. (2012). Reviews on the influences of alloying elements on the microstructure and mechanical properties of aluminum

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК ER И HF НА ЛИТУЮ МИКРОСТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОМАГНИЕВОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 1590, ЭКОНОМНО ЛЕГИРОВАННОГО СКАНДИЕМ

- alloys and aluminum alloy composites. International Journal of Scientific and research publications, 2(6), 1-7.
6. Sanders, R.E., Baumann, S.F. & Stumpf, H.C. (2012). Wrought non-heat treatable aluminum alloys. Treatise in Materials Science & Technology, 31, 65.
7. Zakharov, V.V. (2014). Combined alloying of aluminum alloys with scandium and zirconium. Metal Science and Heat Treatment, 56(5-6). doi : 281-286. 10.1007/s11041-014-9746-5.
8. William F., Smith & Hashemi, J. (2006). Foundations of materials science and engineering. Mcgraw-Hill Publishing.
9. Jia, Z.H., Huang, H.L., Wang, X.L., Xing, Y. & Liu, Q. (2016). Hafnium in aluminum alloys: a review. Acta Metallurgica Sinica (English Letters), 29, 105-119. doi : 10.1007/s40195-016-0379-0.
10. Li, H.Y., Li, D.W., Zhu, Z.X., Chen, B.A., Xin, C.H.E.N., Yang, C.L. & Wei, K.A.N.G. (2016). Grain refinement mechanism of as-cast aluminum by hafnium. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 26(12), 3059-3069. doi : 10.1016/S1003-6326(16)64438-2.
11. Shi, Z.M., Wang, Q., Zhao, G. & Zhang, R.Y. (2015). Effects of erbium modification on the microstructure and mechanical properties of A356 aluminum alloys. Materials Science and Engineering: A, 626, 102-107. doi : 10.1016/j.msea.2014.12.062.
12. Davydov, V.G., Elagin, V.I., Zakharov, V.V. & Rostoval, D. (1996). Alloying aluminum alloys with scandium and zirconium additives. Metal Science and Heat Treatment, 38(8), 347-352. doi : 10.1007/BF01395323.
13. Belov, N.A., Alabin, A.N., Eskin, D.G. & Istomin-Kastrovskii, V.V. (2006). Optimization of hardening of Al-Zr-Sc cast alloys. Journal of materials science, 41, 5890-5899. doi : 10.1007/s10853-006-0265-7.
14. Bo, H., Liu, L.B., Hu, J.L. & Jin, Z.P. (2017). Experimental study and thermodynamic modeling of the Al-Sc-Zr system. Computational Materials Science, 133, 82-92. doi: 10.1016/j.commatsci.2017.02.029.
15. Engler, O. & Miller-Jupp, S. (2016). Control of second-phase particles in the Al-Mg-Mn alloy AA 5083. Journal of Alloys and Compounds, 689, 998-1010. doi: 10.1016/j.jallcom.2016.08.070.
16. Norman, A.F., Prangnell, P.B. & McEwen, R.S. (1998). The solidification behaviour of dilute aluminium-scandium alloys. Acta materialia, 46(16), 5715-5732. doi : 10.1016/S1359-6454(98)00257-2.
17. Rokhlin, L.L., Bochvar, N.R., Boselli, J. & Dobatkina, T.V. (2010). Investigation of the phase relations in the Al-rich alloys of the Al-Sc-Hf system in solid state. Journal of phase equilibria and diffusion, 31, 327-332. doi : doi.org/10.1007/s11669-010-9710-z.
18. Røyset, J. & Ryum, N. (2005). Scandium in aluminium alloys. International Materials Reviews, 50(1), 19-44. doi : 10.1179/174328005X14311.
19. Saccone, A., Cacciamani, G., De Negri, S. & Ferro, R. (2002). The Al-Er-Mg ternary system part I: experimental investigation. Journal of phase equilibria, 23(1), 29-37. doi : 10.1361/105497102770332180.
20. Rokhlin, L.L., Bochvar, N.R., Dobatkina, T.V. & Leont'ev, V.G. (2009). Al-rich portion of the Al-Hf phase diagram. Russian Metallurgy (Metally), 2009, 258-262. doi: 10.1134/S0036029509030124.

Information about the authors

A. A. Ragazin - Engineer of ONIL No. 4 of Samara University.

E. V. Aryshensky - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher at the Research Laboratory of Electron Microscopy and Image Processing of SibGIU.

V. Yu. Aryshensky - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Scientific Supervisor of ONIL-4 of Samara University of Samara University.

A. M. Drits - Candidate of Technical Sciences, a leading researcher at ONIL No. 4 of Samara University.

S. V. Konovalov - Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for Scientific and Innovative Activities of the Siberian State Industrial University; Chief Researcher of ONIL-4 Samara University.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.*

Статья поступила в редакцию 26 марта 2023; одобрена после рецензирования 18 сентября 2023; принята к публикации 20 ноября 2023.

The article was received by the editorial board on 26 Mar 2023; approved after editing on 18 Sep 2023; accepted for publication on 20 Nov 2023.



Научная статья

2.6.11 – Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (технические науки)
УДК 678.6

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.026



ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ЭПОКСИДНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА, НАПОЛНЕННОГО МОДИФИЦИРОВАННЫМИ МИНЕРАЛЬНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ

Амирбек Зарлыкович Бекешев¹, Юлия Александровна Кадыкова²,
Светлана Геннадьевна Калганова³, Антон Станиславович Мостовой⁴,
Ляззат Кнашевна Тастанова⁵, Маржан Кушкинбаевна Ахметова⁶,
Берикбай Онайбаевич Сарсенбаев⁷

^{1, 5, 6, 7} Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, Актюбе, Казахстан

^{2, 3} АО «НПП «Контакт», Саратов, Россия

⁴ Энгельсский технологический институт (филиал) Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Энгельс, Россия

¹ Amirbek2401@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7038-4631>

² 79053818212@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5581-0970>

³ s.kalганова2016@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2155-3192>

⁴ Mostovoy19@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2828-9988>

⁵ Lyazzatt@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9236-5909>

⁶ Majiko.a@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6485-8063>

⁷ Berikbajs@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1446-2690>

Аннотация. Модификация дисперсных наполнителей (базальт и хромит) осуществлялась в индукционной установке при мощности 2 кВт и времени обработки 60 сек, что обеспечивает кратковременное высокотемпературное воздействие токов высокой частоты на наполнители и, как следствие, способствует улучшению характеристик наполненных эпоксидных композитов на их основе. Установлено изменение химического состава наполнителей, что связано с удалением несвязанной влаги, оксидной пленки с поверхности частиц базальта и хромита и оксидов тех веществ, температура разложения которых ниже температуры модификации. По данным электронной микроскопии выявлено, что частицы базальта после воздействия на них токов высокой частоты в значительной степени приобретают игольчатую форму, что положительно влияет на физико-механические характеристики, т.к. такой наполнитель обладает эффектом микроармирования. Частицы хромита в результате обработки токами высокой частоты практически не изменяют своей структуры. Изучение диэлектрических характеристик минеральных наполнителей до и после обработки токами высокой частоты показало, что для базальта и хромита в значительной степени повышается диэлектрическая проницаемость, свидетельствующая об изменении их структуры, что приводит к повышению прочностных характеристик от 7 до 17 %.

Ключевые слова: эпоксидный олигомер, базальт, хромит, индукционная установка, обработка токами высокой частоты, физико-механические свойства.

Благодарности: Исследование профинансировано Комитетом по науке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR18574094).

Для цитирования: Изучение свойств эпоксидного композиционного материала, наполненного модифицированными минеральными наполнителями / А. З. Бекешев [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 4, С. 208–213. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.026. EDN: <https://elibrary.ru/LCLSNC>.

Original article

STUDY OF THE PROPERTIES OF AN EPOXY COMPOSITE MATERIAL FILLED WITH MODIFIED MINERAL FILLERS

Amirbek Z. Bekeshev¹, Yulia A. Kadykova², Svetlana G. Kalganova³,
Anton S. Mostovoy⁴, Lyazzat K. Tastanova⁵, Marzhan K. Akhmetova⁶,
Berikbay O. Sarsenbayev⁷

^{1, 5, 6, 7} Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan

^{2, 3} JSC "SPE "Kontakt", 1, Saratov, Russia

⁴ Engels Institute of Technology (branch) Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin, Engels, Russia

¹ Amirbek2401@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7038-4631>

² 79053818212@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5581-0970>

³ s.kalganova2016@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2155-3192>

⁴ Mostovoy19@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2828-9988>

⁵ Lyazzatt@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9236-5909>

⁶ Majiko.a@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6485-8063>

⁷ Berikbajs@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1446-2690>

Abstract. *In order to improve the properties of filled epoxy composites, in this work, the filler was processed in an induction unit at a power of 2 kW and a processing time of 60 seconds, which ensures short-term high-temperature exposure of high-frequency currents to fillers. A change in the chemical composition of fillers has been established, which is associated with the removal of unbound moisture, an oxide film from the surface of basalt and chromite particles and oxides of those substances whose decomposition temperature is lower than the modification temperature. By the method of electron microscopy, it was found that after processing in an induction installation, basalt particles largely acquire a needle shape, which has a positive effect on the physical and mechanical properties, since such a filler has a micro-reinforcement effect. For chromite particles, as a result of treatment in an induction plant, the structure changes to an insignificant extent with a partial manifestation of the needle structure. The study of the dielectric characteristics of basalt and chromite before and after treatment in an induction unit showed that the permittivity of mineral fillers significantly increases, which indicates a change in the structure of the material. The change in the chemical composition and structure of basalt and chromite after their modification by high-frequency currents leads to an increase in strength characteristics from 7 to 17%.*

Keywords: epoxy oligomer, basalt, chromite, induction plant, high frequency current treatment, physical and mechanical properties.

Acknowledgements: This research has been funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (grant no. BR18574094).

For citation: Bekeshev, A. Z., Kadykova, Yu. A., Kalganova, S. G., Mostovoy, A. S., Tastanova, L. K., Akhmetova, M. K. & Sarsenbayev, B. O. (2023). Study of the properties of an epoxy composite material filled with modified mineral fillers. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 208-213. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.026. EDN: <https://elibrary.ru/LCLSNC>.

ВВЕДЕНИЕ

Для получения полимерных композиционных материалов (ПКМ) широко применяются дисперсные минеральные наполнители, влияющие на физико-химические и механические свойства полимерных материалов [1–4]. В настоящее время перспективным направлением для создания полимерных материалов, отвечающих требованиям инновационной экономики, является модификация не только связующего, но и наполнителя различными физическими или химическими методами [5, 6].

К числу эффективных методов для модификации минеральных наполнителей относятся электротермические методы воздействия, в том числе высокочастотный (ВЧ) нагрев с целью удаления влаги, а также изменения структуры и свойств дисперсных наполнителей. Однако в настоящее время данный метод модификации не получил широкого распространения из-за многофакторности процессов электротермии, недостаточной изученности технологических режимов ВЧ обработки материалов, значительно отличающихся по электрофизическим параметрам.

рам и влажности, а также отсутствия прямых методов контроля физических параметров наполнителей в процессе их обработки и, как следствие, недостаточный уровень разработки теории процесса термической обработки материалов в ВЧ поле.

В связи с этим целью работы является исследование влияния высокочастотной модификации дисперсных минеральных наполнителей на их структуру и свойства.

МЕТОДЫ

Рентгенофлуоресцентный анализ

Рентгенофлуоресцентный анализ был использован для исследования локального рентгенофлуоресцентного элементного микроанализа с возможностью элементного картирования. Принцип качественного элементного анализа образца основан на характеристическом вторичном рентгеновском излучении – рентгеновской флуоресценции, возбуждаемой первичным рентгеновским излучением и регистрируемой с помощью специальных датчиков.

Количественный анализ проводят, сравнивая интенсивность излучения исследуемых элементов в образце и в эталонах с известным содержанием этих элементов.

Рентгенофлуоресцентный анализ наполнителей осуществлялся на рентгеновском аналитическом микрозонде-микроскопе РАМ 30-μ.

Измерения диэлектрических параметров

Измерения диэлектрической проницаемости (ϵ) и тангенса диэлектрических потерь ($\tan\delta$) производились на лабораторной установке с помощью метода волноводного моста [7].

Метод сканирующей электронной микроскопии

Настольный сканирующий электронный микроскоп «Aspex EX10ger» предназначен для исследования металлических и диэлектрических образцов методом детектирования обратного рассеянных электронов и вторичных электронов, а также характеристического рентгеновского излучения. При проведении исследований изучали поверхность, скол и шлиф образцов эпоксидного наполненного полимера.

В работе применялись следующие методы исследования механических свойств:

- определение разрушающего напряжения при изгибе [ГОСТ 4648-71];
- определение разрушающего напряжения при растяжении [ГОСТ 11262-80];

- определение модуля упругости при растяжении и изгибе [ГОСТ 9550-81];

- определение ударной вязкости [ГОСТ 4647-80];

- определение твердости по Бринеллю [ГОСТ 4670-91].

РЕЗУЛЬТАТЫ

В качестве полимерной матрицы использован ранее разработанный состав, состоящий из 100 масс.ч. эпоксидной смолы марки ЭД-20, 40 масс.ч. – олиго (резорцинфенилфосфат) с концевыми фенильными группами Furoiflex (ОРФФ) и 15 масс.ч. отвердителя – полиэтиленполиамины (ПЭПА) [8]. В эпоксидную композицию наполнители (базальт и хромит) вводились в количестве 30 масс.ч. базальта [9] и 75 масс.ч. хромита [10].

Для повышения их равномерности распределения в эпоксидной смоле применялась ультразвуковая обработка состава. Параметры ультразвукового воздействия: частота УЗ – 22 ± 2 кГц, продолжительность – 60 мин.

Модификация дисперсных минеральных наполнителей проводилась в индукционной установке УПИ-60-2 при мощности 2 кВт и продолжительности 60 сек.

При нагреве в индукционной установке УПИ 60-2 в течение 60 сек температура наполнителей составляет для базальта 645 °С, для хромита – 721 °С, т.е. происходит кратковременное высокотемпературное воздействие на наполнители токов высокой частоты, в результате которого химический состав базальта (табл. 1) и хромита (табл. 2) изменяется. Для базальтового наполнителя увеличивается содержание оксидов Fe и Al, а для хромита – оксидов Cr и Al, что обусловлено удалением влаги и оксидной пленки с поверхности частиц наполнителя, а также разложением оксидов тех веществ, температура разложения которых ниже температуры модификации.

Таблица 1 – Химический состав базальта

Table 1 – Chemical composition of basalt

Компонент	Концентрация, %	
	до обработки	после обработки
1	2	3
Si	48,37	32,09
Fe	11,6	25,22
Al	11,20	20,10
Mg	15,30	16,57
Ca	8,94	1,90
Cr	1,75	2,12
Na	1,55	–
Ti	0,57	1,20

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ЭПОКСИДНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА, НАПОЛНЕННОГО МОДИФИЦИРОВАННЫМИ МИНЕРАЛЬНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ

Продолжение таблицы 1 / Tabl 1 cont.

1	2	3
K	0,33	–
Mn	0,19	0,45
Ni	0,15	0,26
S	0,05	0,09

Таблица 2 – Химический состав хромита
Table 2 – Chemical composition of chromite

Компонент	Концентрация, %	
	до обработки	после обработки
Cr	43,34	64,43
Ca	21,42	0,39
Fe	17,73	18,07
Si	13,06	6,28
Al	3,03	9,46
Ni	0,82	0,68
Cu	0,34	0,48
Ti	0,15	0,15
S	0,08	0,04
P	0,03	0,02

После обработки токами высокой частоты частицы базальта приобретают игольчатую форму (рис. 1) и такой наполнитель обладает эффектом микроармирования, что приводит к повышению свойств.

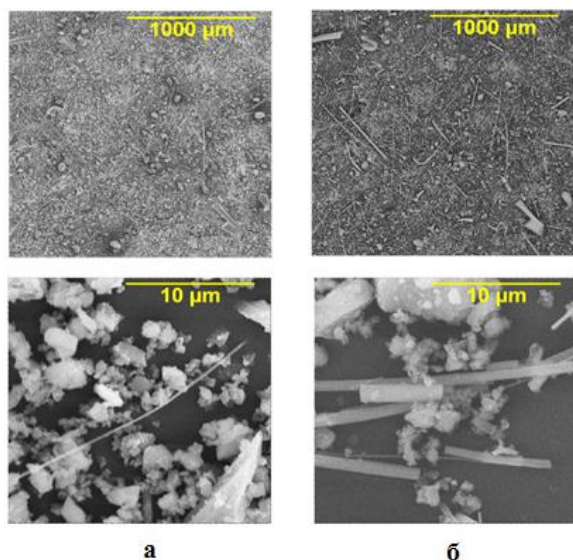


Рисунок 1 – СЭМ базальтовой породы до (а) и после (б) обработки токами высокой частоты

Figure 1 – SEM of basalt rock before (a) and after (b) treatment with high frequency currents

Таблица 3 – Диэлектрические параметры базальта и хромита
Table 3 – Dielectric parameters of basalt and chromite

Диэлектрические параметры	Базальт		Хромит	
	до обработки ТВЧ	после обработки ТВЧ	до обработки ТВЧ	после обработки ТВЧ
Тангенс угла диэлектрических потерь, $\text{tg}\delta$	0,047	0,01	0,243	0,15
Диэлектрическая проницаемость, ϵ	7,504	14,682	3,426	7,02

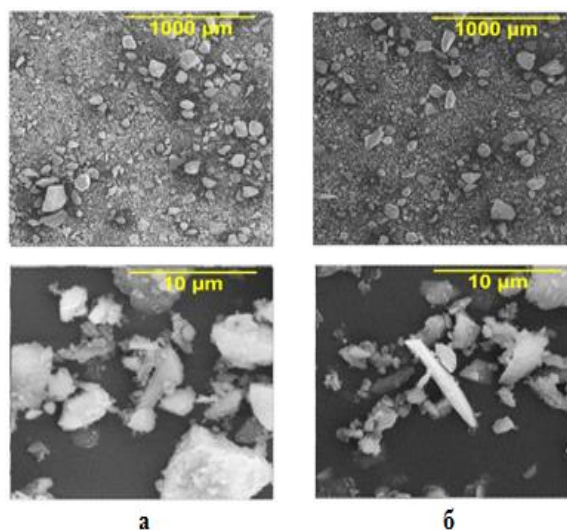


Рисунок 2 – СЭМ хромитовой породы до (а) и после (б) обработки токами высокой частоты

Figure 2 – SEM of chromite rock before (a) and after (b) treatment with high frequency currents

Для частиц хромита (рис. 2) в результате индукционной обработки изменение структуры происходит в незначительной степени с частичным проявлением частиц игольчатой структуры.

Как известно, диэлектрическая проницаемость ϵ является мерой поляризации, поэтому даже незначительное изменение ϵ является косвенным доказательством изменения структуры материала [11, 12]. Для минеральных наполнителей более чем в два раза увеличивается диэлектрическая проницаемость, свидетельствующая об изменении структуры базальта и хромита до и после обработки в индукционной установке (табл. 3).

Изучение физико-механических характеристик наполненных эпоксидных компаундов показало (табл.4, 5), что происходит улучшение всего комплекса свойств (от 7 до 17 %) композитов по сравнению эпоксидным полимером, наполненным не модифицированными наполнителями, что обусловлено изменением структуры и химического состава базальта и хромита, обработанных в индукционной установке токами высокой частоты.

Таблица 4 – Свойства эпоксидных композитов, наполненных базальтом

Table 4 – Properties of epoxy composites filled with basalt

Состав композиции, масс.ч., отвержденной 15 масс.ч. ПЭПА	$G_{из}$, МПа	$E_{из}$, МПа	G_p , МПа	E_p , МПа	$a_{уд}$, кДж/м ²	H_v , МПа
100ЭД-20+40ФФ	80	3210	30	1896	6,0	175
до обработки базальтовой породы токами высокой частоты						
100ЭД-20+40ФФ+30 базальт	88	10023	52	2703	7,0	395
после обработки базальтовой породы токами высокой частоты						
100ЭД-20+40ФФ+30 базальт	96	9624	61	3145	8,0	447

Примечание: $G_{из}$ – изгибающее напряжение; $E_{из}$ – модуль упругости при изгибе; G_p – прочность при растяжении; E_p – модуль упругости при растяжении; H_v – твердость по Бринеллю; $a_{уд}$ – ударная вязкость; коэффициент вариации по свойствам 5–7 %.

Таблица 5 – Свойства эпоксидных композитов, наполненных хромитом

Table 5 – Properties of epoxy composites filled with chromite

Состав композиции, масс.ч., отвержденной 15 масс.ч. ПЭПА	$G_{из}$, МПа	$E_{из}$, МПа	G_p , МПа	E_p , МПа	$a_{уд}$, кДж/м ²	H_v , МПа
100ЭД-20+40ФФ	80	3210	30	1896	6,0	175
до обработки хромитовой породы токами высокой частоты						
100ЭД-20+40ФФ+75 хромит	95	9553	45	2543	6,0	310
после обработки хромитовой породы токами высокой частоты						
100ЭД-20+40ФФ+75 хромит	102	8412	52	3004	7,0	343

Примечание: $G_{из}$ – изгибающее напряжение; $E_{из}$ – модуль упругости при изгибе; G_p – прочность при растяжении; E_p – модуль упругости при растяжении; H_v – твердость по Бринеллю; $a_{уд}$ – ударная вязкость; коэффициент вариации по свойствам 5–7 %.

ВЫВОДЫ

По данным рентгенофлуоресцентного анализа, в исследуемых наполнителях изменяется количество оксидов: в базальте увеличивается количество оксидов железа и алюминия, а в хромите – оксидов хрома и алюминия.

При модификации токами высокой частоты у базальта наблюдается наличие частиц игольчатой формы, в то время как частицы хромита практически не изменяются. Диэлектрические показатели минеральных наполнителей до и после модификации увеличиваются, что свидетельствует об изменении структуры частиц базальта и хромита.

Анализ физико-механических характеристик показал, что для базальтонаполненного эпоксидного компаунда все свойства повышаются от 9 до 17 %, а для наполненного хромитом – от 7 до 16 %.

Таким образом, модификация дисперсных минеральных наполнителей в индукционной установке УПИ-60-2 при мощности 2 кВт и продолжительности 60 сек позволяет изменить структуру и химический состав базальта и хромита, что, в свою очередь, приводит к повышению физико-механических характеристик наполненных эпоксидных компаундов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bogiatzidis C., Zoumpoulakis L. Thermoset Polymer Matrix Composites of Epoxy, Unsaturated Polyester and Novolac Resin Embedding Construction and Demolition Wastes

powder: A Comparative Study // *Polymers*. 2021. № 13 (5), С.737. doi :10.3390/polym13050737.

2. Мостовой А.С., Нуртазина А.С., Кадыкова Ю.А. Эпоксидные композиты с повышенными эксплуатационными характеристиками, наполненные дисперсными минеральными наполнителями // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2018. № 80(3). С. 330–335. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-3-330-335>.

3. Mostovoi A.S., Plakunova E.V., Panova L.G. New Epoxy Composites Based on Potassium Polytitanates // *International Polymer Science and Technology*. 2013. № 40. С. 49–51. doi: 10.1177/0307174X1304000711.

4. Dynamics of destruction of epoxy composites filled with ultra-dispersed diamond under impact conditions / Buketov A.V. [et al.] // *Mechanics of Advanced Materials and Structures*. 2020. № 27. P. 725–733. doi: 10.1080/15376494.2018.1495788.

5. Комплексно-модифицированные базальтопластики / Кадыкова Ю.А. [и др.] // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2018. № 80(2). С. 297–301. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-2-297-301>.

6. Васинкина Е.Ю., Калганова С.Г., Кадыкова, Ю.А. Выбор параметров СВЧ обработки базальтонаполненного эпоксидного олигомера // *Ползуновский вестник*. 2022. № 2. С. 102–107. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2022.02.014>.

7. Исследование диэлектрических свойств композиционных материалов / Сивак А.С. [и др.] // *Вопросы электротехнологии*. 2021. № 4(33). С. 23–28.

8. Highly Efficient Plasticizers- Antipirenes for Epoxy Polymers / Mostovoi A.S. [et al.] // *Inorganic Materials: Applied Research*. 2019. № 10. P. 1135–1139. <https://doi.org/10.1134/S2075113319050228>.

9. Бредихин П.А. Разработка составов и технологии комплексно-модифицированных композитов на ос-

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ЭПОКСИДНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА, НАПОЛНЕННОГО МОДИФИЦИРОВАННЫМИ МИНЕРАЛЬНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ

нове полиолефинов и базальтовых наполнителей : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Саратов, 2020. 16 с.

10. Effect of Finely Dispersed Chromite on the Physicochemical and Mechanical Properties of Modified Epoxy Composites / Mostovoi A.S. [et al.] // Russian Journal of Applied Chemistry. 2018. № 91. P. 1758–1766. <https://doi.org/10.1134/S1070427218110046>.

11. Васинкина Е.Ю. СВЧ модификация эпоксидного базальтонаполненного олигомера для улучшения функциональных свойств композита на его основе: дис. ... канд. техн. наук. Саратов. 2023. 154 с.

12. Славинский, А.С. Физика диэлектриков : монография. Москва: Научтехлитиздат, 2007. 21 с.

Информация об авторах

А. З. Бекешев – кандидат физико-математических наук, ассоциированный профессор кафедры «Физика» Актыбинского регионального университета имени К. Жубанова.

Ю. А. Кадькова – доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник АО «НПП «Контакт».

С. Г. Калганова – доктор технических наук, доцент, начальник исследовательской лаборатории АО «НПП «Контакт».

А. С. Mostovoy – кандидат технических наук, доцент кафедры «Естественные и математические науки» Энгельсского технологического института (филиала) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Л. К. Тастанова – кандидат химических наук, доцент кафедры «Химия и химическая технология» Актыбинского регионального университета имени К. Жубанова.

М. К. Ахметова – преподаватель кафедры «Физика» Актыбинского регионального университета имени К. Жубанова.

Б. О. Сарсенбаев – преподаватель кафедры «Физика» Актыбинского регионального университета имени К. Жубанова.

REFERENCES

1. Bogiatzidis, C. & Zoumpoulakis, L. (2021). Thermoset Polymer Matrix Composites of Epoxy, Unsaturated Polyester, and Novolac Resin Embedding Construction and Demolition Wastes powder: A Comparative Study. *Polymers*. № 13 (5), С. 737. doi: 10.3390/polym13050737.

2. Mostovoy, A.S., Nurtazina, A.S. & Kadykova, Yu.A. (2018). Epoxy composites with enhanced performance characteristics filled with dispersed mineral fillers. *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. No. 80(3). P. 330-335. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-3-330-335>.

3. Mostovoi, A.S., Plakunova, E.V. & Panova, L.G. (2013). New Epoxy Composites Based on Potassium Polytitanates. *International Polymer Science and Technology*. № 40. С. 49-51. doi: 10.1177/0307174X1304000711.

4. Buketov, A.V., Saproinov, O.O., Brailo, M.V., Maruschak, P.O., Yakushchenko, S.V., Panin, S.V. & Nigalatiy, V.D. (2020). Dynamics of destruction of epoxy composites filled with

ultra-dispersed diamond under impact conditions. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*. 2020. № 27. P. 725-733. doi: 10.1080/15376494.2018.1495788.

5. Kadykova, Yu.A., Bredikhin, P.A., Arzamashev, S.V. & Kalganova, S.G. (2018). Complex-modified basalt plastics. *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. No. 80(2). P. 297-301. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-2-297-301>.

6. Vasinkina, E.Yu., Kalganova, S.G. & Kadykova, Yu.A. (2022). The choice of parameters of microwave processing of basalt-filled epoxy oligomer. *Polzunovsky vestnik*. No. 2. P. 102-107. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2022.02.014>.

7. Sivak, A.S., Kalganova, S.G., Kadykova, Yu.A. & Chermashentseva, T.P. (2021). Investigation of dielectric properties of composite materials. *Questions of electrotechnology*. No. 4(33). P. 23-28.

8. Mostovoy, A.S., Nurtazina, A.S., Kadykova, Yu.A. & Bekeshev, A.Z. (2019). Highly Efficient Plasticizers-Antipirenes for Epoxy Polymers. *Inorganic Materials: Applied Research*. № 10. P. 1135-1139. <https://doi.org/10.1134/S2075113319050228>.

9. Bredikhin, P.A. (2020). Development of compositions and technologies of complex-modified composites based on polyolefins and basalt fillers. *Saratov*. (In Russ.).

10. Mostovoy, A.S., Nurtazina, A.S., Burmistrov, I.N. & Kadykova, Yu.A. (2018). Effect of Finely Dispersed Chromite on the Physicochemical and Mechanical Properties of Modified Epoxy Composites. *Russian Journal of Applied Chemistry*. № 91. p. 1758-1766. <https://doi.org/10.1134/S1070427218110046>.

11. Vasenina, E.Yu. (2022). Microwave modification of epoxy basalt-filled oligomer to improve the functional properties of a composite based on it: dis. ... candidate of Technical Sciences. *Saratov*. (In Russ.).

12. Slavinsky, A.S. (2007). *Physics of dielectrics: monograph*. Moscow: Nauchtekhizdat. (In Russ.).

Information about the authors

A. Z. Bekeshev - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Physics of Aktobe Regional University named after K. Zhubanov.

Yu. A. Kadykova - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher of JSC "NPP "Contact".

S. G. Kalganova - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, head of the research laboratory of JSC "NPP "Contact".

A. S. Mostovoy - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Natural and Mathematical Sciences of the Engels Institute of Technology (branch) Saratov State Technical University named after Gagarin Yu.A.

L. K. Tastanov - Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemistry and Chemical Technology of Aktobe Regional University named after K. Zhubanov.

M. K. Akhmetov - lecturer of the Department of Physics of Aktobe Regional University named after K. Zhubanov.

B. O. Sarsenbayev - lecturer of Ph.D. "Physics" of Aktobe Regional University named after K. Zhubanov.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 26 марта 2023; одобрена после рецензирования 18 сентября 2023; принята к публикации 20 ноября 2023.

The article was received by the editorial board on 26 Mar 2023; approved after editing on 18 Sep 2023; accepted for publication on 20 Nov 2023.



Научная статья

2.6.11 – Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (технические науки)
УДК 674.87/66.092–997

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.027



ТОРРЕФИКАЦИЯ И ПИРОЛИЗ ХВОИ *PINUS SYLVESTRIS* L.: СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОДУКТОВ

Лилит Кареновна Казарян ¹, Сергей Реджинальдович Лоскутов ²,
Мария Анатольевна Пляшечник ³, Юрий Яковлевич Симкин ⁴

^{1, 2, 3} Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия

¹ kazaryan.lk@ksc.krasn.ru, <https://orcid.org/0009-0003-3469-9200>

² lsr@ksc.krasn.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3779-8752>

³ lilwood@ksc.krasn.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6879-0710>

⁴ simkinyurii51@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4628-0178>

^{1, 4} Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия

Аннотация. Важной задачей эффективной переработки древесного сырья является поиск новых способов (технологий) получения инновационных продуктов широкого спектра использования. В нашей работе рассматривается один из перспективных вариантов – пиролиз хвои. Это новое для России направление. С помощью методов термического анализа (термогравиметрии и дифференциальной сканирующей калориметрии – ТГ/ДТГ и ДСК), сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) впервые получены данные об изменении строения хвои и параметров термической конверсии в неизотермических условиях: анатомо-морфологических показателей, параметров убыли и скорости потери массы, кинетики окислительной термодеструкции торрефикатов и биоугля, их удельной теплоты сгорания продуктов (от 15,2 до 26,64 МДж/кг). С помощью аналитического пиролиза (ПИ-ГХ/МС) установлен состав пиролизной жидкости исходного материала и его изменение при повторном пиролизе торрефикатов и биоугля. Обсуждается целесообразность и перспективность пиролитической переработки хвои.

Ключевые слова: хвоя сосны, торрефикация, пиролиз, свойства продуктов, пиролитическая переработка хвои.

Для цитирования: Торрефикация и пиролиз хвои *Pinus sylvestris* L.: сравнительная характеристика продуктов / Л. К. Казарян [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 4, С. 214–222. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.027. EDN: <https://elibrary.ru/XFYXPS>.

Original article

TORREFICATION AND PYROLYSIS OF *PINUS SYLVESTRIS* L. NEEDLES: COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF PRODUCTS

Lilit K. Kazaryan ¹, Sergey R. Loskutov ², Maria A. Plyashechnik ³,
Yuri Ya. Simkin ⁴

^{1, 2, 3} V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS - separate subdivision of FRC KSC SB RAS, 660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50/28

¹ kazaryan.lk@ksc.krasn.ru, <https://orcid.org/0009-0003-3469-9200>

² lsr@ksc.krasn.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3779-8752>

³ lilwood@ksc.krasn.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6879-0710>

⁴ simkinyurii51@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4628-0178>

^{1, 4} Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk, Russia

© Казарян Л. К., Лоскутов С. Р., Пляшечник М. А., Симкин Ю. Я., 2023

Abstract. An important task of efficient processing of wood raw materials is the search for new ways (technologies) to obtain innovative products of a wide range of uses. In our work, one of the promising options is considered - pyrolysis of needles. This is a new direction for Russia. With the help of thermal analysis methods (thermogravimetry and differential scanning calorimetry - TG/DTG and DSC), scanning electron microscopy (SEM), data on changes in the structure of needles and parameters of thermal conversion under non-isothermal conditions were obtained for the first time: anatomical and morphological indicators, parameters of loss and rate of mass loss, kinetics of oxidative thermal degradation of torrefacants and biochar, their specific heat of combustion of products (from 15.2 to 26.64 MJ/kg). With the help of analytical pyrolysis (Py-GC/MS), the composition of the pyrolysis liquid of the starting material and its change during repeated pyrolysis of torrefacts and biochar. The expediency and prospects of pyrolytic processing of needles are discussed.

Keywords: pine needles, torrefaction, pyrolysis, properties of products.

For citation: Kazaryan, L. K., Loskutov, S. R., Plyashechnik, M. A. & Simkin, Yu.Ya. (2023). Torrefaction and pyrolysis of *Pinus sylvestris* L. needles: comparative characteristics of products. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 214-222. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.027. EDN: <https://elibrary.ru/XFYXPS>.

ВВЕДЕНИЕ

Биомасса древесных растений является важнейшим источником возобновляемого сырья для различных промышленных отраслей, включая энергетическую. Около 10 % от годового потребления энергии во всем мире связано с переработкой отходов промышленного использования растительной биомассы (лесной комплекс, сельское хозяйство), что быстро приближается к потреблению природного газа, угля и нефти как энергетического ресурса – 21, 27 и 33 % соответственно [1]. Для более экономически эффективного использования биомассы в качестве источника энергии необходимо повышать ее топливные свойства.

Одним из технологических направлений решения этой задачи, получивших за последние 1–1,5 десятилетия интенсивное развитие, является торрефикация и пиролиз различного вида биомассы [2].

Производство биоугля (biochar), углеродистого продукта пиролиза биомассы в последнее время привлекает большое внимание исследователей из-за его потенциально широкого применения в качестве биотоплива и биосорбента [3]. Ряд индивидуальных компонентов пиролизной жидкости являются продуктами с высокой добавленной стоимостью, применяемые в органическом синтезе, медицинской, сельскохозяйственной, парфюмерно-косметической, пищевой и биотехнологической отраслях. В публикациях [4–7] отмечается, что хвоя (в частности, виды сосны) является перспективным сырьем для получения твердого и жидкого («биодизель») топлива, а также востребованных продуктов, выделяемых из пиролизной жидкости [8].

Цель нашего исследования – определение с помощью современных методов сканирующей электронной микроскопии, термогра-

виметрии, дифференциальной сканирующей калориметрии и аналитического пиролиза физико-химических показателей (структурных, термических) торрефикатов и биоуглей, полученных из хвои сосны.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Образцы хвои заготавливали в насаждении сосны (*Pinus sylvestris* L.) на северо-западе зеленой зоны г. Красноярска. Подготовка образцов для проведения термического анализа и СЭМ осуществлялись по методикам, изложенным в работах Ягодина В.И. [9] и Оболенской А.В. с соавторами [10].

Заготовленные образцы массой 177, 241, 339 г и влажностью ~7.4 % загружали в целевую реторту, с начальной температурой 20 °С. Нагревание опытных образцов до конечной температуры 300, 450, 550 °С соответственно осуществляли со средней скоростью 5.6 °С/мин; продолжительность выдержки при конечной температуре – 90 мин. Выход твердых продуктов торрефикации и пиролиза составил 68.3 (300 °С), 33.2 (450 °С), и 23.5 (550 °С) % ($\pm(4-5)$ % выхода твердых продуктов пиролиза).

Торрефикацию при 250 °С и пиролиз при 700 °С осуществляли с помощью термогравиметрического оборудования TG 209 F. Скорость нагрева 10 °С/мин; масса образца около 2.37 и 2.52 мг. Выход торрефиката и биоугля составил 73.8 и 22.4 % ($\pm(1,8-2)$ % выхода указанных продуктов) соответственно. Во всех случаях торрефикация и пиролиз проводились в атмосфере азота.

Сканирующую электронную микроскопию (СЭМ) полученных торрефикатов и биоуглей осуществляли с помощью микроскопа TM-1000 («HITACHI», Япония) с рентгеноспектральным анализатором Swift ED-TMEDX («Oxford Instruments Analytical Ltd.», Великобритания).

Термические характеристики биоугля определяли с помощью методов термогравиметрии и дифференциальной сканирующей калориметрии на соответствующем оборудовании фирмы «NETZSCH», (ТГ ТГ/ДТГ – TG 209 F1, ДСК – DSC 204 F1, ФРГ) в окислительной среде (воздух); компонентный состав продуктов «вторичного» анализировали на аналитической системе Пи-ГХ/МС EGA/PY-3030D/GCMS-QP2020 («Shimadzu», Япония) по методике [8].

Кинетические параметры термоокислительной деструкции биоугля рассчитывали по методу Бройдо [11], и Колмогорова–Ерофеева–Авраами [8].

Для обнаружения остатков непиролизованного материала хвои и определения компонентного состава жидких продуктов «повторного» пиролиза использовали метод, описанный авторами Лоскутовым и др. в статье – «Диагностика ранних изменений физико-химических свойств древесины под действием грибных инфекций» [12].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние пиролиза на строение хвои демонстрирует рисунок 1. На этом рисунке видны характерные изменения, обусловленные нагревом хвои в инертной атмосфере при термогравиметрии: покровной ткани (образование разрывов, трещин, отверстий и т.п.) деформация формы устьиц, трансформация складчатой паренхимы и др. С помощью приставки энерго-дисперсионной рентгеновской

спектроскопией к СЭМ обнаружены минеральные агрегаты, содержащие Fe, K, Ca, Si, Mg и другие элементы, характерные для хвои сосны [14].

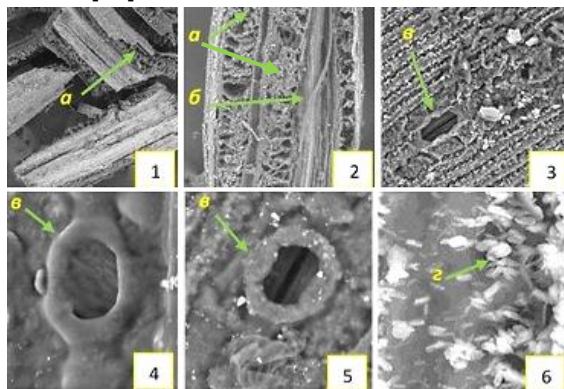


Рисунок 1 – Сканирующая электронная микроскопия торрефикатов и биоугля, полученных в результате пиролиза хвои сосны: 1–3 – частицы биоугля; 4–5 – изображение устьиц на частице торрефиката и биоугля соответственно; 6 – минеральные частицы биоугля

(а) – складчатая паренхима; (б) – проводящий пучок; (в) – устьице; (г) – минеральные частицы

Figure 1 – Scanning electron microscopy of torrefaction products and biochar obtained as a result of pyrolysis of pine needles: 1-3 – particles of biochar; 4-5 – image of stomata on a particle of torrefaction and biochar, respectively; 6 – mineral particles of biochar

(а) – folded parenchyma; (б) – conducting beam; (в) (с) – stomata; (г) – mineral particles

Примечание. Увеличение – $\times 100$ (1), $\times 300$ (2), $\times 1,0k$ (3), $\times 2,0k$ (4,5) и $\times 10k$ (6).

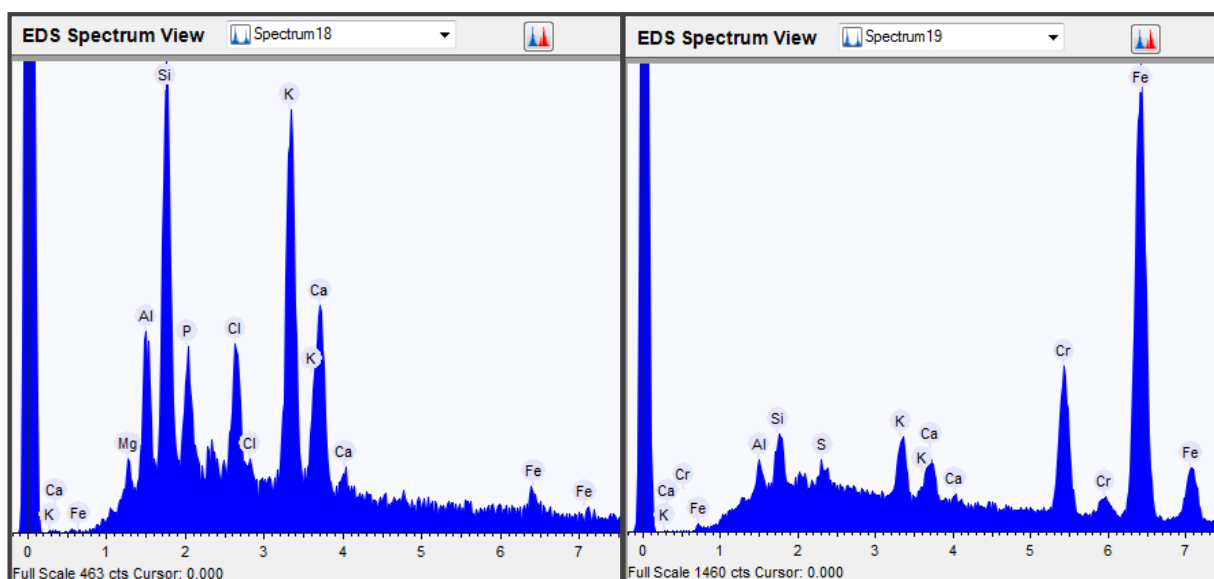


Рисунок 2 – Примеры рентгенофлуоресцентных спектров минеральных включений в частицах биоугля

Figure 2 – Examples of X-ray fluorescence spectra of mineral inclusions in biochar particles

ТОРРЕФИКАЦИЯ И ПИРОЛИЗ ХВОИ *PINUS SYLVESTRIS* L.: СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОДУКТОВ

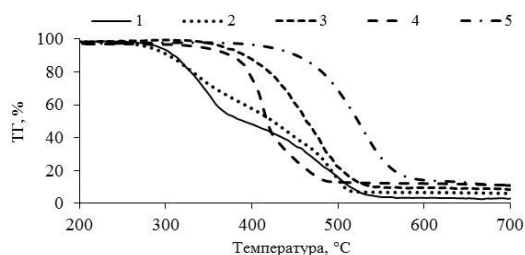


Рисунок 3 – Результаты термогравиметрии натуральной хвои, её торрефикатов и биоуглей: 1 – хвоя, 2 и 3 – торрефикаты, полученные при температуре 250 и 300 °С соответственно, 4 и 5 – биоугли (пиролиз при 450–550 °С соответственно)

Figure 3 – Results of thermogravimetry of natural needles, its torrefacats and biochar: 1 – needles, 2 and 3 – torrefacats obtained at a temperature of 250 and 300 °C, respectively, 4 and 5 – biochar (pyrolysis at 450 and 550 °C, respectively)

Примечание. Стандартное отклонение ТГ в ходе термодеструкции изменялось от 0.21 до 1.07 %, пиков ДТГ – от 0.36 до 0.84 °С; DTG_{max} – от 0.08 до 0.68 °С·мин⁻¹ ($P = 0.05$).

На рисунке 3 показаны зависимости потери массы экспериментальными образцами в опытах по термогравиметрии в окислительной среде (воздух) от температуры.

С ростом температуры в процессе пиролиза хвои наблюдается смещение ТГ-кривых в область повышенных температур, что приводит к увеличению температуры половинной

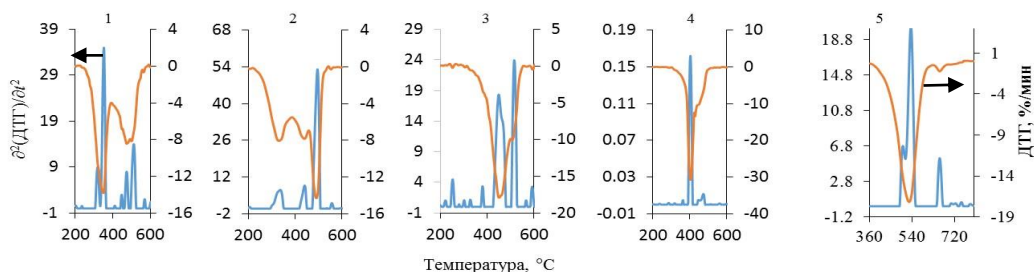


Рисунок 4 – Деконволюция ДТГ-кривых термической конверсии торрефикатов и биоугля хвои в зависимости от температуры: 1 – хвоя, 2 и 3 – торрефикаты, полученные при температуре 250 и 300 °С соответственно, 4 и 5 – биоугли (пиролиз при 450–550 °С соответственно)

Figure 4 – Deconvolution of DTG curves of thermal conversion of torrefacats and biochar needles depending on temperature: 1 – needles, 2 and 3 – torrefacats, obtained at a temperature of 250 and 300 °C, respectively, 4 and 5 – biochar (pyrolysis at 450 and 550 °C, respectively)

Установленная связь между начальной температурой деструкции твердых продуктов пиролиза хвои и остаточной массой в термогравиметрическом тесте (рис. 6) однозначного объяснения пока не имеет. В ряде исследований показано, что для анализа кинетики термодеструкции различных материалов в неизотермических условиях широко используется метод Бройдо [16–18]:

$$\ln \left[\ln \left(\frac{1}{y} \right) \right] = -\frac{E_a}{RT} + \ln \left(\frac{AR T_m^2}{\beta E_a} \right), \quad (1)$$

где y – массовая доля неразложившегося

вещества образца; E_a – энергия активации; T – температура; R – универсальная газовая постоянная; A – предэкспоненциальный множитель (частотный фактор); β – скорость нагрева; T_m – температура, соответствующая максимуму на кривой ДТГ. Из уравнения (1) следует, что энергия активации E_a определяется по углу наклона прямой, построенной в координатах $\ln \left[\ln \left(\frac{1}{y} \right) \right]$ versus $\frac{1}{T}$.

убыли массы (рис. 3) по параболическому закону ($R^2 = 0.967$). Это свидетельствует о сходном течении карбонизации исследуемых образцов, что согласуется с изменением остаточной массы при конечной температуре образцов 1–5 (рис. 2, 5). ДТГ-контуры термоокислительной деструкции образцов 1–5 являются результатом частичного перекрытия процессов потери массы основными компонентами вещества хвои при разных температурах. Детальная картина «стадийности» потери массы может быть установлена в результате анализа деконволюции ДТГ-контуров (рис. 4) [8, 12, 15].

Основания пиков вторых производных ДТГ (рис. 4) указывают на температурные интервалы потери масс, по которым (с использованием ТГ-кривых) могут быть построены детальные количественные профили термодеструкции исследованных образцов [Лоскутов и др. Ранняя диагностика]. Отмечается также значительное «упрощение» деконволюционной картины в ряду 1 ... 5 на рисунке 4.

Отмечается наличие связи температуры торрефикации (пиролиза) хвои сосны с суммарной потерей массы (без учета влаги) и остаточной массой (ОМ) (рис. 5), что свидетельствует о согласованности результатов термогравиметрии экспериментальных образцов.

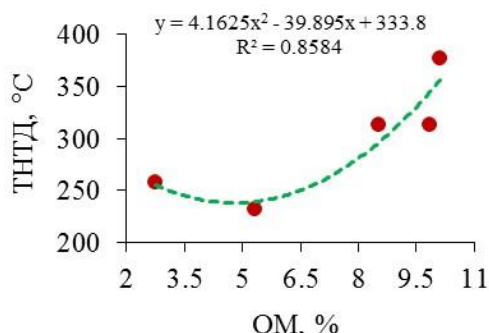


Рисунок 5 – Зависимость интегральной потери массы ($\Delta(TГ)$) и остаточной массы (ОМ) образцами торрефикатов и биоугля при окислительной термодеструкции в термогравиметрическом опыте

Figure 5 – The dependence of the integral mass ($\Delta(TГ)$) and the remaining mass (RM) by samples of torrefacts and biochar during oxidative thermal degradation in the thermogravimetric experiment

Общеизвестно, что уравнение Колмогорова–Ерофеева–Авраами (КЕА):

$$\alpha = 1 - \exp(-k\tau^n), \quad (2)$$

где k и n параметры, хорошо описывает протекание во времени различных гетерогенных процессов [17, 18, 19]. Параметры этого уравнения используются для расчета кажущейся константы скорости химической конверсии по формуле Саковича: $K = n \cdot k^{1/n}$.

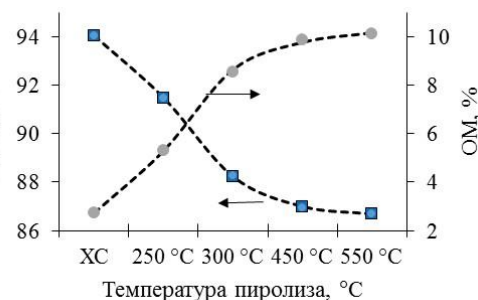


Рисунок 6 – Влияние температуры начала термодеструкции твердых продуктов пиролиза хвой на остаточную массу при нагреве до 900 °C со скоростью 20 C/мин

Figure 6 – Effect of the thermal degradation beginning temperature of needles pyrolysis solid products on the residual mass when heated to 900 °C at the rate of 20 °C/min

Применением уравнений (1) и (2) к термогравиметрическим данным (ТГ-кривым) анализа торрефикатов и биоугля хвой сосны были рассчитаны основные кинетические параметры E_a и K исследованных образцов пиролиза хвой (рис. 7).

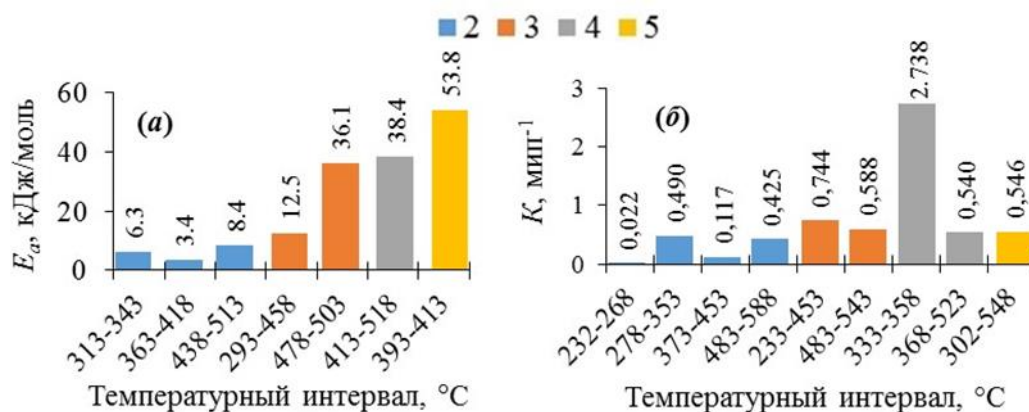


Рисунок 7 – Термокинетические показатели окислительной деструкции торрефикатов биоугля, получаемых из хвой сосны: (а) – энергия активации, (б) – константа скорости реакций термического разложения (нагрев до 900 °C со скоростью 20 °C/мин; 1 – хвоя, 2 и 3 – торрефикаты, полученные при температуре 250 и 300 °C соответственно, 4 и 5 – биоугли (пиролиз при 450–550 °C соответственно))

Figure 7 – Thermokinetic indicators of oxidative degradation of biochar/torrefacts obtained from pine needles: (a – activation energy, (b) – rate constant of thermal decomposition reactions (heating up to 900 °C at a speed of 20 °C/min; 1 – needles, 2 and 3 – torrefacts obtained at a temperature of 250 and 300 °C, respectively, 4 and 5 – biochar (pyrolysis at 450 and 550 °C, respectively))

Примечание. Стандартная погрешность расчета E_a составляла 3,5 кДж/моль, константы скорости реакции составляли 0,04 мин⁻¹.

ТОРРЕФИКАЦИЯ И ПИРОЛИЗ ХВОИ *PINUS SYLVESTRIS* L.: СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОДУКТОВ

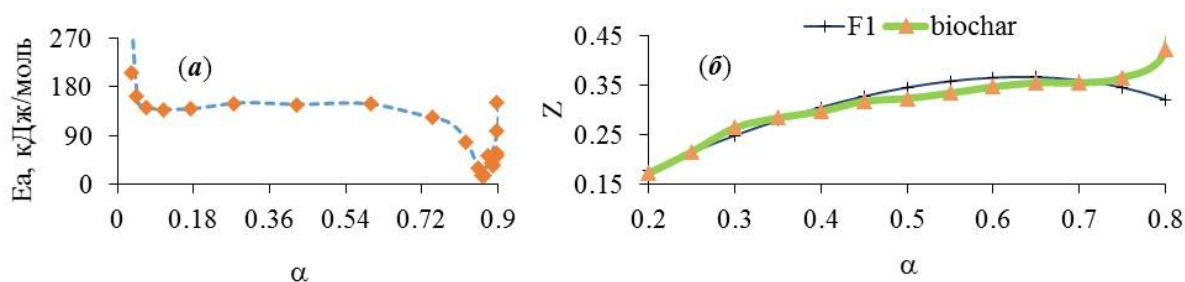


Рисунок 8 – (а) – зависимость энергии активации (E_a) от степени конверсии (α) при термодеструкции биоугля; (б) – сравнение экспериментальной кривой $Z_{biochar}(\alpha)$ (уравнение (3)) с наиболее близкой к эталонной кривой (F1) по методу Криадо

Figure 8 – (a) – dependence of the activation energy (E_a) on the degree of conversion (α) during thermal degradation of biochar; (b) – comparison of the experimental curve $Z_{biochar}(\alpha)$ (equation (3)) with the closest to the reference curve (F1) using the Criado method

Примечание. Протестированы следующие механизмы реакции: A2, A3, A4 – нуклеация и рост по Колмогорову–Ерофееву–Авраами; R1 – реакция, контролируемая границей раздела фаз, одномерное движение; R2 – реакция, контролируемая границей раздела фаз, сжимающаяся (стягивающаяся) поверхность; R3 – реакция, контролируемая границей раздела фаз, сжимающийся (стягивающийся) объем; D1 – одномерная диффузия; D2 – двумерная диффузия (уравнение Валенси); 3 – трехмерная диффузия (уравнение Джандера); D4 – трехмерная диффузия (уравнение Гинстлинга–Брунштейна); F1 – первый порядок, случайное зарождение одного ядра на отдельной частице; F2 – второй порядок, случайное зарождение двух ядер на отдельной частице; F3 – третий порядок, случайное зарождение с тремя ядрами на отдельной частице [22].

Рисунок 7, (а) и (б) отражает многостадийность процесса окислительной термодеструкции торрефикатов и биоугля по величине энергии активации и константе скорости реакции термического разложения. Отмечается закономерное уменьшение числа стадий по мере повышения химической однородности образцов. В целом тенденция изменения E_a и K (рис. 7) и «динамика» деконволюции ДТГ-контуров (рис. 4) согласуются друг с другом.

Зависимости E_a от степени конверсии при термодеструкции (рис. 8, (а) сравнивается с эталонными зависимостями $Z(\alpha) = f(\alpha)g(\alpha)$ для различных механизмов реакции: $f(\alpha)$ – математическая модель реакции, которая описывает зависимость скорости реакции от степени конверсии. Для полного понимания процесса термоокислительной деструкции биоугля очень важно знание механизма реакции. Механизм реакции определен по методу Криадо и др. [22], согласно которому функция (3), построенная для исследуемого биоугля (biochar) на основе экспериментальной зависимости конверсии.

$g(\alpha)$ – интегральная кинетическая функция или интегральная модель реакции (4) [23]:

$$Z_{biochar}(\alpha) = \left[\frac{d\alpha}{dt} \cdot \frac{E_a}{R} \cdot e^{\frac{E_a}{RT}} \cdot P(x) \right], \quad (3)$$

где $x = E_a/RT$, а $P(x)$ – четвертое рациональное выражение, предложенное в работе Перес–Македа и др. [24].

$$g(\alpha) = \int_0^\alpha \frac{d\alpha}{f(\alpha)}. \quad (4)$$

Дифференциальная сканирующая калориметрия всех твердых продуктов пиролиза хвои сосны выявила существенное увеличение теплового эффекта сгорания образцов в ряду хвоя...торрефикаты... биоуголь от 8.2 до 26.4 МДж/кг. Наибольшая величина указывает на возможность использования биоугля из хвои в качестве компонента для получения топливных композиций: пеллетов, брикетов и т.п.

В работе [8] представлены продукты, характерные для хвои сосны, а также известная на сегодняшний день стоимость этих продуктов, свидетельствующая об экономической целесообразности их получения. На рис. 9 представлены пирограммы хвои (после удаления водорастворимых веществ) и «вторичного» пиролиза торрефиката и биоуглей.

Полученные данные указывают на степень термодеструкции вещества хвои в зависимости от конечной температуры пиролиза (торрефикации) и согласуются с результатами деконволюции ДТГ-контуров (рис. 4).

Получаемые продукты пиролизной жидкости востребованы в органическом синтезе, в производстве технических и пищевых продуктов, парфюмерии, медицинских товаров и т.п.

Так, например, 2-бутен-1,4-диол, (Z)- находится применение для получения некоторых важных средств защиты растений, фармацевтических средств и промежуточных продуктов [25].

Октаналь применяется для синтеза альфа-гексилкоричного альдегида, является

компонентом пищевых эссенций; используется, как и гептаналь, в производстве парфюмерных композиций [26]. Стоимость 5 мл октанала составит 130 рублей, 100 мл гептанала – 344 рублей [27].

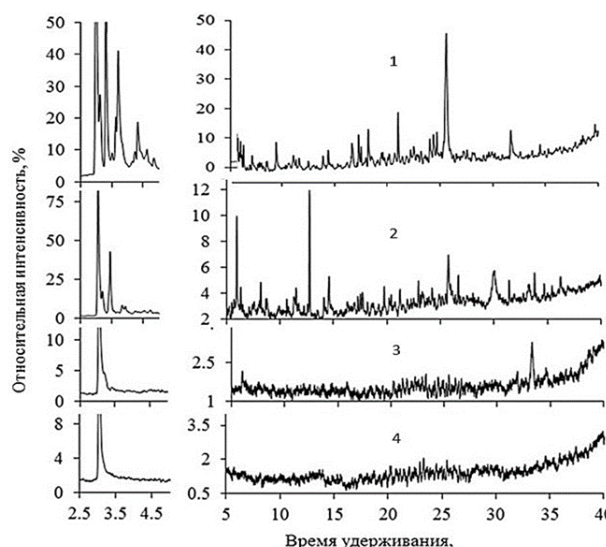


Рисунок 9 – Пирограммы пиролизатов флэш пиролиза хвои после экстракции горячей водой (1) [8], торрефиката хвои, полученного при температуре 300 °С (2), и биоуглей, полученных при 450 (3), и 550 (4) °С соответственно. При температуре термической обработки хвои выше 300 °С в ней практически не остается органического материала, пиролизующегося при 600 °С. Об этом наглядно свидетельствуют пирограммы рис. 8 и данные таблицы

Figure 9 – Pyrograms of pyrolyzates from the pyrolysis of needles after extraction with hot water (1) [8], pine needles torreficats obtained at the temperature of 300 °С (2), and biochar obtained at 450 (3) and 550 (4) °С, respectively. At the temperature of heat treatment of needles above 300 °С, there is practically no organic material pyrolyzing at 600 °С. This is clearly evidenced by the pyrograms of Fig. 8 and the data in the table

2-Метокси-4-винилфенол находит свое применение в качестве ароматизатора. Это один из компонентов, отвечающих за естественный аромат гречки [28]. Стоимость 5 граммов 2-метокси-4-винилфенола составляет 5824 рублей [27].

Бензофуран, 2,3-дигидро- и другие производные бензофурана используют как отбеливатели в бумажной промышленности, так и сцинтилляционные материалы, антиоксиданты в получении каучуков, в качестве лекарственных препаратов [26].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резюмируя полученные результаты исследования хвойных торрефикатов и биоугля,

следует отметить, что хвоя (древесная зелень) сосны обыкновенной является важным ресурсным компонентом лесов Сибири для пиролитической переработки с получением продуктов высокой добавленной стоимости, с одной стороны, и повышения эффективности промышленного использования биомассы дерева – с другой.

Результаты анализа данных СЭМ, ТГ/ДТГ, ДСК свидетельствуют о потенциально высокой востребованности продуктов пиролитической переработки хвои (древесной зелени) сосны: как биотоплива с высокой теплотворной способностью (около 27 МДж/кг), прекурсоров для получения сорбентов различного назначения (биоуголь) и различных продуктов для органического синтеза в химической, пищевой, медицинской и парфюмерно-косметической отраслях производства товаров (пиролизаты).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chen W.H., Lu K.M., Tsai C.M. An experimental analysis on property and structure variations of agricultural wastes undergoing torrefaction // *Applied Energy*. 2012. № 100. P. 318–325.
2. Исследование технологических параметров торрефикации древесины в горизонтальном шнековом реакторе в интенсивных режимах / А.А. Макаров [и др.] // *Вестник Казанского технологического университета*. 2013. № 13. С. 177–179.
3. А.Ю. Крылова, Е.Г. Горлов, А.В. Шумовский. Получение биоугля пиролизом биомассы // *Химия твердого топлива*. 2019. № 6. С. 55–64.
4. A. Kumain, T.K. Bhattacharya, H.K. Sharma. Physico-chemical and Thermal Characteristics of Pine Needle Biochar Briquetted Fuel using Soil, Lime and Cement as a Binder // *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*. 2020. № 9(10). P. 3675–3690.
5. Valorization of waste pine needle biomass into biosorbents for the removal of methylene blue dye from water: Kinetics, equilibrium and thermo-dynamics study / D. Pandey [et al.] // *Environmental Technology & Innovation*. 2022. № 25. P. 8–12.
6. Havilah P.R., Sharma P.K., Sharma A.K. Characterization, thermal and kinetic analysis of *Pinus roxburghii* // *Environment, Development and Sustainability: A Multidisciplinary Approach to the Theory and Practice of Sustainable Development*. 2021. № 23. P. 8872–8894.
7. Varma A.K., P. Mondal. Pyrolysis of pine needles: effects of process parameters on products yield and analysis of products // *J. Therm. Anal. Calorim.* 2018. № 13. P. 1057–2072.
8. Термический анализ и пиролиз хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* Ledeb.) / С.Р. Лоскутов [и др.] // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2023. № 1. С. 49–59.
9. Ягодин В.И. Основы химии и технологии переработки древесной зелени : учебник / под ред. Ю.И. Холькина. Л. : Изд-во ЛГУ, 1981. 224 с.
10. Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леоно-

ТОРРЕФИКАЦИЯ И ПИРОЛИЗ ХВОИ *PINUS SYLVESTRIS* L.: СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОДУКТОВ

вич А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы : учеб. пособие для вузов / М. : Экология, 1991. 320 с.

11. Broido A.A. simple, sensitive graphical method of treating thermogravimetric analysis data // *J. Polym. Sci.* 1969. № 7. P. 1761–1773.

12. Диагностика ранних изменений физико-химических свойств древесины под действием грибных инфекций / С.Р. Лоскутов [и др.] // *Химия растительного сырья*. 2022. № 2. С. 61–72.

13. Characterization of Biochars from Various Agricultural By Products Using FTIR Spectroscopy, SEM focused with image Processing / A. Ray [et al.] // *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*. 2020. № 13(4). P. 423–430.

14. Элементный состав хвои в разных клонах сосны обыкновенной / В.В. Тараканов [и др.] // *Лесоведение*. 2007. № 1. С. 28–35.

15. Гигроскопические свойства древесины лиственных пород / Лоскутов С.Р. [и др.] // *Лесной вестник Forestry Bulletin*. 2022. № 2. С. 92–102.

16. Gao M., Sun C.Y., Wang C.X. Thermal degradation of wood treated with flame retardants // *J. Therm. Anal. Calorim.* 2006. № 3. P. 765–769.

17. Muralidhara K.S., Sreenivasan S. Thermal degradation kinetic data of polyester, cotton and polyester-cotton blended textile material // *World Appl. Sci. J.* 2010. № 2. P. 184–189.

18. Saiyed B.A. The study of thermal stability and decomposition in cadmium oxalate single crystals // *IJERT*. 2012. № 1. P. 1–5.

19. Влияние температуры на кинетику сорбции ионов Co^{2+} и Ni^{2+} сорбентом на основе производного инозитгексафосфорной кислоты / Ярусова С.Б. [и др.] // *Журнал физической химии*. 2018. № 3. С. 451–456.

20. Изучение процессов сорбции церия методом математического планирования эксперимента / Водолазов Л.И. [и др.] // *ДАН СССР*. 1989. № 1. С. 139–143.

21. Лоскутов С.Р. Взаимодействие древесины с физически активными низкомолекулярными веществами. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2004. 171 с.

22. Applicability of the master plots in kinetic analysis of nonisothermal data / J.M. Criado [et al.] // *Thermochim Acta*. 1989. № 147. P. 377–385.

23. Sharma P., Diwan P.K. Study of thermal decomposition process and the reaction mechanism of the eucalyptus wood // *Wood Sci Technol*. 2017. № 51. P. 1081–1094.

24. Perez-Makeda L.A., Criado J.M. Accuracy of Senum and Yang approximations to the Arrhenius integral // *J Thermal Calorim.* 2000. № 60. P. 909–915.

25. Способ получения бутен-2-диола-1,4: Пат. : RU2154527C2 Рос. Федерация № 97101900/04; заявл. 04.07.1995 ; опубл. 20.08.2000.

26. Химический портал: официальный сайт. Москва. URL : <https://chemport.ru/> (дата обращения: 19.01.2023).

27. Реарус Материалы для лаборатории : официальный сайт. Москва. URL : <https://rearus.ru/> (дата обращения: 20.01.2023).

28. La Parfumerie: официальный сайт. URL:<https://www.laparfumerie.org/parfumedia/article/95100-vinylguaiaicol/> (дата обращения: 10.01.2023).

Информация об авторах

Л. К. Казарян – инженер лаб. физ.-хим. биологии древесных растений Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, магистрант кафедры хим. технологии древесины и биотехнологии Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева.

С. Р. Лоскутов – д-р. хим. н., академик IAWS, зав. лаб. физ.-хим. биологии древесных растений, Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН.

М. А. Пляшечник – науч. сотрудник лаб. физ.-хим. биологии древесных растений Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН.

Ю. Я. Симкин – к.т.н., доцент кафедры безопасности жизнедеятельности Сибирского государственного университета науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева.

REFERENCES

1. Chen, W.H., Lu, K.M., Tsai, C.M. (2012). An experimental analysis on property and structure variations of agricultural wastes undergoes torrefaction. *Applied Energy*. (100) 318-325. doi : 10.1016/j.apenergy.2012.05.056.

2. Makarov, A.A. [et al.]. (2013). Investigation of technological parameters of wood torrefication in a horizontal screw reactor in intensive modes. *Bulletin of Kazan Technological University*. (13) 177-179. (In Russ.).

3. Krylova, A.Y., Gorlov, E.G., Shumovsky, A.V. (2019). Obtaining bio-coal by pyrolysis of biomass. *Chemistry of solid fuel*. (6) 55-64. (In Russ.).

4. Kumain, A., Bhattacharya, T.K., Sharma, H.K. (2020). Physico-chemical and Thermal Characteristics of Pine Needle Biochar Briquetted Fuel using Soil, Lime and Cement as a Binder. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* (10). 3675-3690.

5. Pandey, D. [et al.]. (2022). Valorization of waste pine needle biomass into biosorbents for the removal of methylene blue dye from water: Kinetics, equilibrium and thermodynamic study. *Environmental Technology & Innovation*. (25) 8-12. doi :10.1016/j.eti.2021.102200.

6. Havilah, P.R., Sharma, P.K., Sharma, A.K. (2021). Characterization, thermal and kinetic analysis of Pinus roxburghii. *Environment, Development and Sustainability* (23) 8872-8894. doi : 10.1007/s10668-020-01001-8.

7. Varma, A.K., Mondal, P. (2018). Pyrolysis of pine needles: effects of process parameters on products yield and analysis of products. *J. Therm. Anal. Calorim.* (13). 1057-2072. doi : 10.1007/s10973-017-6727-0.

8. Loskutov, S.R. [et al.]. (2023). Thermal analysis

and pyrolysis of pine needles (*Pinus sylvestris* Ledeb.). *Chemistry in the interests of sustainable development*. (1) 49-59. (In Russ.). doi : 10.15372/KhUR2023438.

9. Yagodin, V.I., Kholkin, Yu.I. (1981). Fundamentals of chemistry and technology of processing wood greens: textbook Publishing House of LSU (In Russ.).

10. Obolenskaya, A.V., Yelnitskaya, Z.P., Leonovich, A.A. (1991). Laboratory work on the chemistry of wood and cellulose: a textbook for teachers. M. : Ecology. (In Russ.).

11. Broido, A. (1969). A simple, sensitive graphical method of treating thermogravimetric analysis data. *Journal of Polymer Science*. (7) 1761-1773.

12. Loskutov, S.R. [et al.]. (2022). Diagnostics of early changes in the physico-chemical properties of wood under the influence of fungal infections. *Chemistry of plant raw materials*. (2). 61-72. (In Russ.).

13. Ray, A. [et al.]. (2020). Characterization of Biochars from Various Agri-cultural By Products Using FTIR Spectroscopy, SEM focused with image Processing. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*. (4) 423-430.

14. Tarakanov, V.V. [et al.]. (2007). The elemental composition of needles in different clones of scots pine. *Forestry*. (1) 28-35. (In Russ.).

15. Hygroscopic properties of sheet wood / Loskutov S.R [et al.] // Forest Bulletin Forestry Bulletin. 2022. No. 2. 92-102. (In Russ.).

16. Gao, M., Sun, C.Y., Wang, C.X. (2006). Thermal degradation of wood treated with flame retardants. *J. Therm. Anal. Calorim*, (3), 765-769.

17. Muralidhara, K.S., Sreenivasan, S. (2010). Thermal degradation kinetic data of polyester, cotton and polyester-cotton blended textile material. *World Appl. Sci. J.*, (2), 184-189.

18. Saiyed, B.A. (2012). The study of thermal stability and decomposition in cadmium oxalate single crystals. *IJERT*, (1), 1-5.

19. Yarusova, S.B. [et al.]. (2018). The effect of temperature on the kinetics of sorption of Co²⁺ and Ni²⁺ ions by a sorbent based on aqueous inositolhexaphosphoric acid. *Journal of Physical Chemistry*, (3), 451-456. (In Russ.).

20. Vodolazov, L.I. [et al.]. (1989). The study of cerium sorption processes by the method of mathematical experiment planning. *DAN USSR*, (1), 139-143. (In Russ.).

21. Loskutov, S.R. (2004). Interaction of wood with physically active low molecular weight substances. Novosibirsk : Publishing House SB RAS. (In Russ.).

22. J. Criado, J. Malek and A. Ortega. (1989).

Applicability of the master plots in kinetic analysis of nonisothermal data. *Thermochimica Acta*, (147), 377-385.

23. Sharma, P., Diwan, P.K. (2017). Study of thermal decomposition process and the reaction mechanism of the eucalyptus wood. *Wood Sci Technol*, (51), 1081-1094.

24. Perez-Makeda, L.A., Criado, J.M. (2000). Accuracy of Senum and Yang approximations to the Arrhenius integral. *J. Therm. Anal. Calorim*, (60), 909-915.

25. Method of obtaining butene-2-diol-1,4: Pat. : RU2154527C2 Russian Federation, published on 20.08.2000. (In Russ.).

26. Chemical portal: official website. Moscow. URL : <https://chemport.ru/> (date of issue: 19.01.2023).

27. Rearus Materials for the laboratory: official website. Moscow. URL : <https://rearus.ru/> (date of access: 20.01.2023).

28. La Parfumerie: official website. URL : <https://www.laparfumerie.org/parfumedia/article/95100-vinylguaicol/> (date of access: 10.01.2023).

Information about the authors

L. K. Kazaryan - engineer lab. phys.-chemical. *Biology of Woody Plants of the V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Federal Research Center Krasnoyarsk Science Center SB RAS, a magistrant of the Department of Chemical Technology of Wood and Biotechnology of the Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev.*

S. R. Loskutov - Dr. Chemical. N., Academician of IAWS, Head of the Laboratory of Physics and Chemistry. *biology of Woody Plants, V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Federal Research Center Krasnoyarsk Science Center SB RAS.*

M. A. Plyashechnik - scientific. employee of the lab. phys.-chemical. *biology of woody plants of the Institute of Forest named after V.N. Sukachev SB RAS, Federal Research Center Krasnoyarsk Science Center SB RAS.*

Yu. Ya. Simkin - Ph.D., Associate Professor of the Department of Life Safety of the Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 26 марта 2023; одобрена после рецензирования 18 сентября 2023; принята к публикации 20 ноября 2023.

The article was received by the editorial board on 26 Mar 2023; approved after editing on 18 Sep 2023; accepted for publication on 20 Nov 2023.



Научная статья

2.6.11 – Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (технические науки)
УДК678.743.41

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.028



ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА И УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН

Александр Александрович Ушканов ¹, Надежда Николаевна Лазарева ²,
Айталиа Алексеевна Охлопкова ³, Андрей Петрович Васильев ⁴

^{1, 2, 3, 4} Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия

¹ alexanderushkanov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5638-8399>

² lazareva-nadia92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5090-0793>

³ okhlopkova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0691-7066>

⁴ gtvap@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7699-533X>

Аннотация. В работе представлены результаты исследования полимерных композиционных материалов на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) и модифицированных углеродных волокон марки «Белум». Установлено, что введение 1 масс. % наполнителя способствует повышению деформационно-прочностных характеристик композитов: предела прочности при растяжении на 18 %, относительного удлинения при разрыве на 2 % и модуля упругости в 1,2 раза по сравнению с ненаполненным ПТФЭ. Результаты исследования на прочность при сжатии свидетельствуют, что введение армирующего наполнителя в целом положительно влияет на повышение прочности материала: при 5 % деформации на 50 %; при 10 % деформации на 41 %; при 25 % деформации на 38 %. Трибологическими исследованиями зарегистрировано, что износостойкость композитов увеличилась в 76 раз, при сохранении коэффициента трения на уровне исходного ПТФЭ. На микрофотографиях образцов, полученных методом сканирующей электронной микроскопии, наблюдается плотно прилегающие волокна на поверхности композитов, вероятно таким образом защищают материал от изнашивания. С целью оценки взаимодействия полимерной матрицы с наполнителем проведены исследования методом дифференциально-сканирующей калориметрии. Выявлено, что чем выше энтальпия плавления, тем более упорядоченная (кристаллическая) система и тем выше стойкость к износу.

Ключевые слова: политетрафторэтилен, углеродные волокна, полимерный композиционный материал, арматура, связующее, износостойкость, коэффициент трения, прочность.

Благодарности: Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ № FSRG-2023-0026.

Для цитирования: Ушканов А. А., Лазарева Н. Н., Охлопкова А. А., Васильев А. П. Исследование полимерных композиционных материалов на основе политетрафторэтилена и углеродных волокон // Ползуновский вестник. 2023. № 4, С. 223–229. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.028. EDN: <https://elibrary.ru/YRCJIU>.

Original article

RESEARCH OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS BASED ON POLYTETRAFLUOROETHYLENE AND CARBON FIBERS

Alexander A. Ushkanov ¹, Nadezhda N. Lazareva ², Aitalina A. Okhlopkoва ³,
Andrey P. Vasilev ⁴

© Ушканов А. А., Лазарева Н. Н., Охлопкова А. А., Васильев А. П., 2023

^{1, 2, 3, 4} North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk, Russia

¹ alexanderushkanov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5638-8399>

² lazareva-nadia92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5090-0793>

³ okhlopkova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0691-7066>

⁴ gtvap@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7699-533X>

Abstract. This paper presents the results of the research of polymer composite materials based on polytetrafluoroethylene (PTFE) and modified carbon fibers of the Belum brand. It has been established that the introduction of 1 wt. % filler contributes to an increase in the deformation-strength characteristics of composites: tensile strength by 18%, relative elongation at break by 2% and elasticity modulus by 1.2 times compared to unfilled PTFE. The results of the research on compressive strength indicate that the introduction of a reinforcing filler generally has a positive effect on increasing the strength of the material: at 5% deformation by 50%; at 10% deformation by 41%; at 25% deformation by 38%. The tribological research showed that the wear resistance of composites has increased by 76 times, while maintaining the friction coefficient at the level of the original PTFE. In the micrographs of the samples obtained by scanning electron microscopy, tightly adhering fibers are observed on the surface of the composites, probably thus protecting the material from wear. In order to evaluate the interaction of the polymer matrix with the filler, researches were carried out using the method of differential scanning calorimetry. It is revealed that the higher the melting enthalpy, the more ordered (crystalline) system and the higher the wear resistance.

Keywords: polytetrafluoroethylene, carbon fibers, polymer composite material, rebar, binder, wear resistance, coefficient of friction, strength.

Acknowledgements: This research was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (grant numbers [FSRG-2023-0026]).

For citation: Ushkanov, A. A., Lazareva, N. N., Okhlopkova, A. A. & Vasilev, A. P. (2023). Research of polymer composite materials based on polytetrafluoroethylene and carbon fibers. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 223-229. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.028. EDN: <https://elibrary.ru/YRCJIU>.

ВВЕДЕНИЕ

Интенсивное развитие наукоемких технологий предъявляет повышенные требования к уровню эксплуатационных характеристик техники различной специализации и областей применения. Основными параметрами техники, на которые обращается особое внимание при ее эксплуатации, являются надежность, безопасность, эффективность и эргономичность. Использование полимерных композиционных материалов (ПКМ) в конструкциях машин и деталей механизмов является одним из эффективных способов повышения этих параметров.

Большой интерес к ПКМ, безусловно, связан с активным освоением и развитием Арктики. Полимерные композиты, используемые в экстремально холодных условиях, за исключением главной способности сохранять свои эксплуатационные свойства при низких температурах, должны быть устойчивыми и к воздействию льда, снега и влаги. Таким образом, разработка морозостойких ПКМ является важной задачей в области современного материаловедения [1].

Политетрафторэтилен (ПТФЭ, Ф-4) является незаменимым материалом для при-

менения в качестве полимерной матрицы при создании ПКМ, эксплуатируемых в условиях Арктики. Структура полимера представляет собой спиральную углеродную цепь, плотно окруженную атомами фтора, выступающих в качестве защитного слоя. Благодаря такой структуре, ПТФЭ имеет чрезвычайно низкий коэффициент трения и химическую стойкость. Тем не менее материал имеет свои недостатки, такие как высокий износ и склонность к ползучести. Для устранения этих недостатков можно использовать армирующие модификаторы, такие как углеродные волокна.

Углеродные волокна (УВ) представляют собой прочные тонкие нити (филаменты), характеризующиеся высоким содержанием атомов углерода. Волокна имеют небольшой вес и обладают высокой прочностью на разрыв, что делает их идеальными для применения в различной промышленности, в том числе для армирования ПТФЭ, тем самым улучшая общие механические свойства ПКМ [2]. Однако производство углеродных волокон имеет высокую стоимость, что делает их дорогими для использования в массовом производстве. Во всяком случае, развитие и совершенствование технологий производства углеволокон продолжается, что может приве-

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА И УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

сти к снижению их стоимости и более широкому применению в будущем.

Цель работы. Разработка ПКМ с улучшенными трибологическими и механическими свойствами на основе ПТФЭ, наполненных модифицированными углеродными волокнами.

Для достижения этой цели поставлены следующие задачи:

1. Исследование влияния модифицированных углеродных волокон марки «Белум» на деформационно-прочностные характеристики ПТФЭ.

2. Изучение влияния наполнителя на трибологические свойства ПКМ в зависимости от их содержания;

3. Исследование термодинамических параметров и структуры ПКМ методами сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) и дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве полимерной матрицы при разработке композитов был выбран ПТФЭ ПН-90 производства АО «Гало Полимер» (Россия) ТУ 2213-022-13693708-2005, ГОСТ 10007-80, где в качестве армирующего наполнителя применяли углеродные волокна марки «Белум» ОАО «Светлогорск Химволокно» (Беларусь). Длина филаментов 50–500 мкм, диаметр 8–10 мкм. Для модификации поверхности УВ был применен плазмохимический метод, разработанный в ГНУ ИММС им. В.А. Белого НАН Беларуси. Из работы Васильева А.П. [2] известно, что такая химическая модификация поверхности углеволокон в среде фторорганических соединений обеспечивает прочное сцепление между армирующим наполнителем и полимерной матрицей.

Технологическая схема получения ПТФЭ и композитов на его основе приведена на рис. 1. В работе применяли свободное спекание [3–5], до которой компоненты для создания ПКМ смешивали и затем под давлением 50 МПа прессовали, чтобы получить окончательные формы образцов для исследования. При спекании не требуется использование специального оборудования или форм для создания композитов. Вместо этого отпрессованные материалы ставят в нагревательную печь в среде воздуха. Однако при свободном спекании могут возникать некоторые проблемы, такие как неоднородность материала или низкая прочность соединения, особенно для композитов со сложной рецептурой и формой образца. Этап калибровки осуществляется для образцов в виде цилиндра, что, в свою очередь, влияет на их геометрическую точность и функциональность.

Механические испытания ПКМ проводи-

лись при комнатной температуре на универсальной испытательной машине «Autograph AGS-J» фирмы Shimadzu (Япония), используя стандартные методы испытаний ГОСТ 4651-2014 и ГОСТ 11262-2017. Процент отклонения составил до $\pm 10\%$.

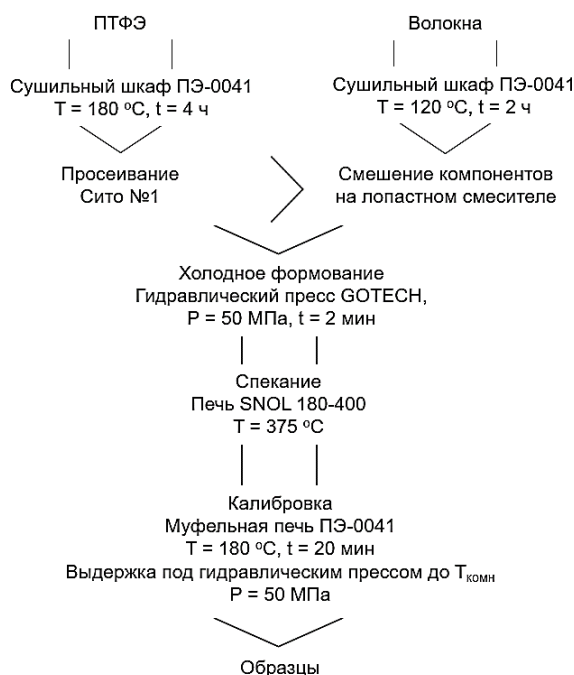


Рисунок 1 – Технологическая схема получения ПТФЭ и композитов на его основе

Figure 1 – Technological scheme for the production of PTFE and composites based on it

Трибологические параметры определяли на универсальном трибометре «СЕТР UMT-3» (США) в течение 3 ч. по схеме трения «палец–диск», где «диск» – контртело, угловая скорость вращения диска 96 об/мин, а «палец» неподвижен и находится под нагрузкой 160 Н (рис. 2).

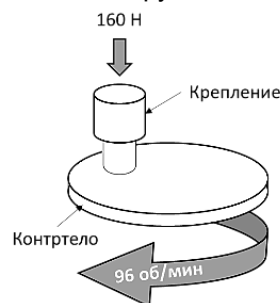


Рисунок 2 – Схема трения «палец–диск»

Figure 2 – Friction scheme "pin-disk"

Плотность ПТФЭ и композитов на его основе устанавливали согласно ГОСТ 15139-69. В качестве рабочей жидкости использовали дистиллированную воду. Число образцов на исследование – 3.

Надмолекулярную структуру и поверхности трения композитов на основе ПТФЭ исследовали на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) «JSM-7800F» марки JEOL (Япония). Данный анализ ПКМ позволяет понять их надмолекулярную организацию и морфологию поведения материала в процессе трения.

Метод дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) «DSC 204 F1 Phoenix» NETZSCH (Германия) применяли с целью оценки физико-химического взаимодействия компонентов ПКМ (погрешность составляет не более +0,1 %). Измерения проводятся при постепенном повышении температуры с заданной скоростью, равной 20 К/мин.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для исследования были выбраны композиты с концентрациями 1 и 5 масс. % УВ, так как в работе Марковой М.А. [и др.] [6] отмечено, что при увеличении содержания углеволокон до 7 и 10 масс. % происходит некоторое снижение триботехнических и физико-механических характеристик ПКМ.

В табл. 1–3 представлены результаты механических и трибологических исследований ПТФЭ и ПКМ на его основе.

Таблица 1 – Испытания на прочность при растяжении ПТФЭ и ПКМ на его основе

Table 1 – Tensile strength tests of PTFE and PCM based on it

Композит, масс. %	σ_p , МПа	ϵ , %	E, МПа
ПТФЭ	22	390	355
УВ	1	26	401
	5	18	406

Примечание: σ_p – предел прочности при растяжении, МПа; ϵ – относительное удлинение при разрыве, %. E – модуль упругости на растяжение, МПа.

Из таблицы 1 видно, что увеличение содержания УВ до 5 масс. % в ПКМ приводит к некоторому снижению предела прочности при растяжении на 18 % по сравнению с чистым ПТФЭ. Это вероятно сопоставлено с тем, что волокна не способны деформироваться в такой же степени, как полимерная матрица. Как известно из работы Кургузовой О.А. [7], повышение содержания наполнителя в композитах может привести к образованию дефектов в структуре ПКМ. А их объединение может и вовсе способствовать образованию микротрещин в структуре [8]. Для лучшего выяснения влияния волокон на ПТФЭ была более детально исследована надмолекулярная структура ПКМ (рис. 3).

Исследования надмолекулярной структуры ПКМ методом СЭМ (рис. 3) свидетельствуют, что в зависимости от содержания УВ структура композитов существенно различается. Видно, что волокна распределены в матрице хаотично, вместе с тем их повышенная поверхностная активность (благодаря модификации поверхности УВ фторорганикой) позволяет ПТФЭ при кристаллизации формировать нетипичные для данного полимера сферолитоподобные структурные элементы.

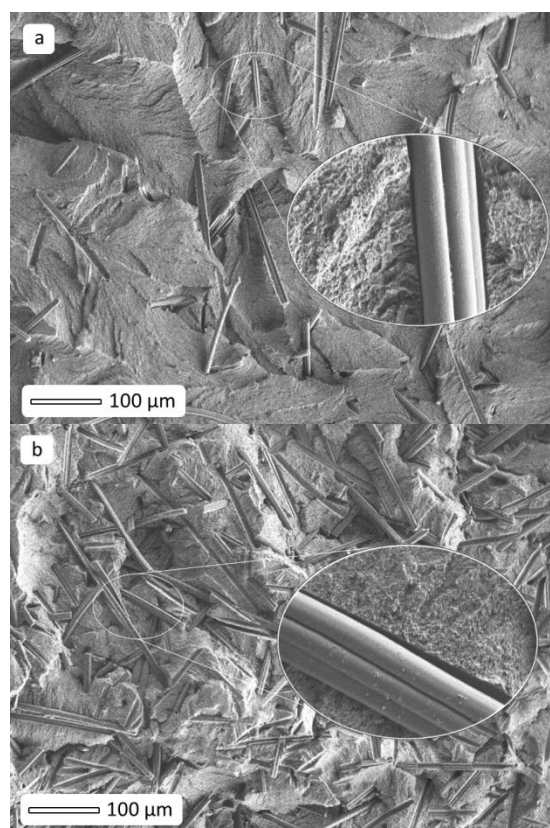


Рисунок 3 – Микрофотографии (при увел. 150 и 3000) надмолекулярной структуры ПКМ на основе ПТФЭ, содержащие УВ (масс. %): а) 1; б) 5

Figure 3 – Micrographs (at magnifications of 150 and 3000) of the supramolecular structure of PCM based on PTFE containing CF (wt. %): a) 1; b) 5

На поверхности скола с наибольшим содержанием УВ различных агломератов не наблюдается, однако структура кажется более рыхлой и пористой, что обусловлено как уменьшением пространства между волокнами, так и возможным возникновением пустот, предпочтительно вблизи волокон.

Согласно работе Калистратовой Л.Ф. и соавторов [9], увеличение содержания волокнистого наполнителя в ПТФЭ приводит к ухудшению прочностных характеристик ПКМ. Результаты проведенных исследований Кропотки-

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА И УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

на О.В. [10] также показывают, что при содержании УВ ≤ 4 масс. % число пор в композиционных материалах на основе ПТФЭ незначительно. Относительное удлинение увеличивается монотонно, по сравнению с исходным полимером.

Таким образом, повышение содержания УВ в ПТФЭ сопровождается снижением деформационно-прочностных характеристик композитов и одновременно к значительному увеличению прочности на сжатие (табл. 2) и износостойкости (табл. 3). Следовательно, выходит, что ПКМ становится более хрупким и склонным к образованию трещин при механическом воздействии на них. При этом в то же время повышение прочности при сжатии и уменьшение скорости массового изнашивания указывают на обратное, что полимерный композит становится более устойчивым к давлению и механическому износу.

Таблица 2 – Испытания на сжатие ПТФЭ и ПКМ на его основе

Table 2 – Compression tests of PTFE and PCM based on it

Композит, масс. %	$\sigma_{сж}$ при различных деформациях			
	5 %	10 %	25 %	
ПТФЭ	8	12	21	
УВ	1	10	14	23
	5	12	17	29

Примечание: $\sigma_{сж}$ – прочность при сжатии, МПа.

Как видно из таблицы 2, при введении УВ в ПТФЭ прочность при сжатии при выбранных деформациях заметно увеличивается независимо от концентрации наполнителя. Это связано с тем, что углеволокна обладают очень высокой прочностью и жесткостью, что позволяет им эффективно сопротивляться сжатию. Улучшение влечет за собой повышение твердости ПКМ, вследствие увеличения волокон в объеме полимерной матрицы, то есть благодаря образованию в матрице ПТФЭ "армирующей" структуры, которая повышает сопротивление к деформации и разрушению материала при сжатии.

Таблица 3 – Исследования трибологических характеристик и плотности ПТФЭ и ПКМ на его основе

Table 3 – Studies of tribological characteristics and density of PTFE and PCM based on it

Композит, масс. %	l , мг/ч	f	ρ , г/см ³	
ПТФЭ	51,39	0,20	2,15	
УВ	1	1,56	0,19	2,17
	5	0,67	0,19	2,12

Примечание: l – скорость массового изнашивания, мг/ч; f – коэффициент трения; ρ – плотность, г/см³

Анализ данных из таблицы 3 установил, что введение УВ благоприятно влияет на создание устойчивой к трению структуры полимера. Износостойкость композитов увеличилась в 76 раз, при сохранении исходного значения коэффициента трения ПТФЭ. Для объяснения подобного изменения трибологических свойств ПКМ исследовали структуру их поверхностей трения (рис. 4).

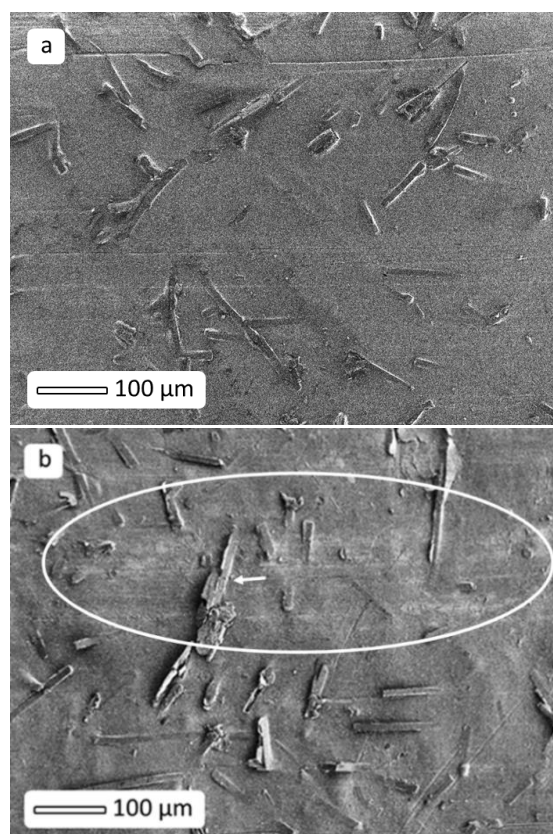


Рисунок 4 – Микрофотографии (при увел. 150) поверхностей трения ПКМ на основе ПТФЭ, содержащие (масс. %): а) 1; б) 5

Figure 4 - Micrographs (at magnification 150) of friction surfaces of PCM based on PTFE, containing (wt.%): a) 1; b) 5

Из рисунка 4 видно, что УВ расположены случайным образом (эффективное распределение нагрузки) и прилегают к поверхности достаточно плотно. В процессе трения поверхность ПКМ в обоих случаях обогащается волокнами, с увеличением концентрации УВ в композитах их содержание на поверхности трения увеличивается. Есть основание полагать, что волокна служат ориентирами для трения и предотвращают непосредственный контакт макромолекул ПТФЭ с контртелом, то есть играют роль защиты от истирания, тем самым способны обеспечить более длительный срок службы материала. В результате

механического износа вырывание волокон с поверхности трения ПКМ не обнаружено, что показывает высокую адгезию между УВ и полимерной основой композитов. Как отмечено в работе [11], при трении реализуется перенос напряжения от полимерной матрицы к волокнам. Кроме того, заметных трещин не наблюдается, что также объясняет повышение стойкости к износу ПКМ по сравнению с ПТФЭ.

Уменьшение значения плотности композита с 5 масс. % УВ по сравнению с ПТФЭ объясняется меньшей плотностью УВ.

С целью изучения адгезионного взаимодействия между компонентами в ПКМ исследовали термодинамические параметры методом ДСК. Физико-химические процессы взаимодействия наполнителя с полимером играют важную роль при формировании ПКМ. Результаты исследования представлены в табл. 4.

Таблица 4 – Исследования термодинамических параметров ПТФЭ и ПКМ на его основе

Table 4 – Research of thermodynamic parameters of PTFE and PCM based on it

Композит, масс.%	$\Delta H_{пл}$, Дж/г	$T_{пл}$, К	$\Delta S_{пл}$, Дж/г	α , %	
ПТФЭ	38,83	597,7	0,065	47,36	
УВ	1	43,49	597,1	0,072	53,04
	5	34,18	597,6	0,057	41,68

Примечание: $\Delta H_{пл}$ – энтальпия плавления, Дж/г; $T_{пл}$ – температура плавления, К; $\Delta S_{пл}$ – энтропия плавления, Дж/г; α – степень кристалличности, %

Как видно из таблицы 4, происходит увеличение значений энтальпии плавления и степени кристалличности для композитов, содержащих 1 масс.% УВ. Как установлено в работе [12], наибольшую стойкость к износу имеет ПКМ с высокой упорядоченностью структуры. Другими словами, формирование более упорядоченной структуры сопровождается увеличением $\Delta H_{пл}$ системы. Увеличение значения энтропии свидетельствует, что взаимодействие волокнистого наполнителя с молекулами полимера приводит к повышению молекулярной подвижности макромолекулы ПТФЭ.

ВЫВОДЫ

На основании результатов исследований установлено, что введение углеродных волокон благоприятно влияет на улучшение механических и трибологических свойств ПКМ.

Выявлено, что надмолекулярная структура ПТФЭ при введении УВ сопровождается трансформацией от ламеллярной до сферолитоподобной. Установлено, что в процессе трения УВ локализируются на поверхности трения, предохраняя материал от изнашивания. Методом дифференциальной сканирующей калориметрии показано увеличение термодинамических параметров. Таким образом, комбинация этих материалов ПТФЭ и УВ (с фторорганикой) делает ПКМ привлекательным для многих отраслей промышленности, и мы можем с уверенностью ожидать, что их применение будет только расширяться.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полимерные композиционные материалы триботехнического назначения на основе политетрафторэтилена / А.А. Охлопкова [и др.] // Российский химический журнал. 2008. № 3. С. 147–151.
2. Васильев А.П. Разработка полимерных композиционных материалов на основе политетрафторэтилена с углеродными волокнами и природными наполнителями: каолином и вермикулитом: дис. ... канд. тех. наук, Казань, 2021. 155 с.
3. Болдин М.С. Физические основы технологии электроимпульсного плазменного спекания // Электронное учебно-методическое пособие. 2012. 59 с.
4. Чемисенко О.В. Структура и свойства нанокompозита на основе политетрафторэтилена, модифицированного диоксидом кремния и скрытокристаллическим графитом : дис. ... канд. тех. наук, Омск, 2018. 145 с.
5. Влияние содержания модифицированных углеродных волокон на физико-механические свойства малонаполненного ПТФЭ / Башлакова А.Л. [и др.] // Полимерные материалы и технологии. 2021. Т. 7. № 4. С. 62–67.
6. Маркова М.А., Петрова П.Н., Федоров А.Л. Исследование трибологических свойств полимерных композитов на основе ПТФЭ в режиме сухого трения и в среде жидких смазок // Журнал Сибирского федерального университета. 2022. № 15(5). С. 569–582.
7. Кургузова О.А. Разработка износостойкого нанокompозита на основе политетрафторэтилена с целью повышения работоспособности и долговечности металлополимерных герметизирующих свойств : дис. ... канд. тех. наук, Омск, 2014. 107 с.
8. Машков Ю.К., Калистратова Л.Ф., Кропотин О.В. Развитие методов формирования эффективных структурно-фазовых состояний полимерных композитов на основе ПТФЭ // Пластические массы. 2017. № 3–4. С. 12–14.
9. Калистратова Л.Ф., Зайнуллина Л.В. Сравнительный анализ толщины деформированного поверхностного слоя композитов двойных систем ПТФЭ с волокнистым и дисперсным наполнителями // Актуальные проблемы современной науки. 2019. С. 27–32.
10. Кропотин О.В. Износостойкие ПТФЭ-композиты для повышения надежности металлополимерных герметизирующих устройств изделий ма-

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА И УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

шиностроения : дис. ... докт. тех. наук. Омск, 2016. 282 с.

11. Базальтофторопластовые композиты антифрикционного назначения / А.А. Охлопкова [и др.] // Вестник СВФУ. 2013. Т. 10. № 5. С. 30–36.

12. Разработка полимерных композитов триботехнического назначения с микроразмерными модификаторами / Крпотин О.В. [и др.] // Омский научный вестник. 2013. № 2 (120). С. 91–94.

Информация об авторах

А. А. Ушканов – аспирант 4 курса химического отделения Института естественных наук ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова».

Н. Н. Лазарева – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, зав. УНТЛ «Технологии полимерных нанокompозитов» имени доцента С.А. Слепцовой Института естественных наук ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова».

А. А. Охлопкова – доктор технических наук, главный научный сотрудник УНТЛ «Технологии полимерных нанокompозитов» имени доцента С.А. Слепцовой Института естественных наук ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова».

А. П. Васильев – кандидат технических наук, старший научный сотрудник УНТЛ «Технологии полимерных нанокompозитов» имени доцента С.А. Слепцовой Института естественных наук ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова».

REFERENCES

1. Ohlopkova, A.A., Petrova, P.N., Popov, S.N. & Sleptsova, S.A. (2008). Polimernye kompozitsionnye materialy tribotekhnicheskogo naznacheniya na osnove politetraftoretilena. *Rossiyskij himicheskij zhurnal*, 147-151. (In Russ.).

2. Vasilev, A.P. (2021). Razrabotka polimernyh kompozitsionnykh materialov na osnove politetraftoretilena s uglerodnymi voloknami i prirodnyimi napolnitelyami: kaolinomivermikulitom. Extended abstract of candidate's thesis. Kazan'. (In Russ.).

3. Boldin, M.S. (2012). Fizicheskie osnovy tekhnologii elektroimpul'snogo plazmennogo spekaniya. *Elektronnoe uchebno-metodicheskoe posobie*. 59. (In Russ.).

4. Chemisenko, O.V. (2018). Razrabotka i issledovanie iznosostojkikh antifriktsionnykh polimernyh nanokompозитов na osnove politetraftoretilena. Extended abstract of candidate's thesis. Omsk. (In Russ.).

5. Bashlakova, A.L., Shelestova, V.A., Ivanov, L.F. & Grakovich, P.N. (2021). Vliyanie sodержaniya modifitsirovannykh uglerodnym volokon na fiziko-mekhanicheskie svoystva malonapolnennogo PTFE. *Polimernye materialy i tekhnologii* (4 (7)), 62-67. (In Russ.).

6. Markova, M.A. Petrova, P.N. & Fedorov, A.L. (2022). Issledovanie tribologicheskikh svoystv polimernyh

kompozitov na osnove PTFE v rezhime suhogo treniya i v srede zhidkikh smazok. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta*. (15(5)). 569-582. (In Russ.).

7. Kurguzova, O.A. (2014). Razrabotka iznosostojkogo nanokompозита na osnove politetraftoretilena s cel'yu povysheniya rabotosposobnosti i dolgovechnosti metallopolimernyh germetiziruyushchih svoystv. Extended abstract of candidate's thesis. Omsk. (In Russ.).

8. Mashkov, YU.K., Kalistratova, L.F. & Kropotin, O.V. (2017). Razvitie metodov formirovaniya effektivnykh strukturno-fazovykh sostoyanij polimernyh kompozitov na osnove PTFE. *Plasticheskie massy*. (3-4), 12-14. (In Russ.).

9. Kalistratova, L.F. & Zajnullina, L.V. (2019). Sravnitel'nyj analiz tolshchiny deformirovannogo poverhnostnogo sloya kompozitov dvoynih sistem PTFE s voloknistymi dispersnym napolnitelyami. *Aktual'nye problemy sovremennoj nauki*. 27-32. (In Russ.).

10. Kropotin, O.V. (2016). Iznosostojkie PTFE-kompозиты dlya povysheniya nadezhnosti metallopolimernyh germetiziruyushchih ustrojstv izdelij mashinostroeniya. Extended abstract of Doctor's thesis. Omsk. (In Russ.).

11. Okhlopkova, A.A., Vasilev, S.V., Petrova, P.N., Fedorov, A.L. & Tuisov, A.G. (2013). Bazal'tofloroplastovye kompozity antifriktsionnogo naznacheniya. *Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta im. M.K. Ammosova*, (10 (5)), 30-36. (In Russ.).

12. Kropotin, O.V., Mashkov, Yu.K., Egorova, V.A. & Kurguzova, O.A. (2013). Razrabotka polimernyh kompozitov tribotekhnicheskogo naznacheniya s mikrorazmernymi modifikatorami. *Omskij nauchnyj vestnik*. (2 (120)). 91-94. (In Russ.).

Information about the authors

A. A. Ushkanov - 4th year postgraduate student of the Chemical Department of the Institute of Natural Sciences, NEFU.

N. N. Lazareva - Candidate of Technical Sciences, Leading researcher - Head of the educational, scientific and technological laboratory "Technologies of polymer nanocomposites" named after associate professor S.A. Sleptsova, Institute of Natural Sciences, NEFU.

A. A. Okhlopkova - Doctor of Technical Sciences, Chief researcher of the educational, scientific and technological laboratory "Technologies of polymer nanocomposites" named after associate professor S.A. Sleptsova, Institute of Natural Sciences, NEFU.

A. P. Vasilev - Candidate of Technical Sciences, Senior researcher of the educational, scientific and technological laboratory "Technologies of polymer nanocomposites" named after associate professor S.A. Sleptsova, Institute of Natural Sciences, NEFU.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 26 марта 2023; одобрена после рецензирования 18 сентября 2023; принята к публикации 20 ноября 2023.


The article was received by the editorial board on 26 Mar 2023; approved after editing on 18 Sep 2023; accepted for publication on 20 Nov 2023.



Научная статья

2.6.11 – Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (технические науки)
УДК542.913

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.029

 EDN: ZHZDWA

РЕВЕРСИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРИМЕРЕ ПРОИЗВОДСТВА ЛЕДОБУРА С ПЛАСТИКОВЫМ ШНЕКОМ

Данил Дементьевич Ефрюшин ¹, Александр Анатольевич Беушев ²

^{1, 2} Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул, Россия

² baa7@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0233-3805>

Аннотация. Реверсивный инжиниринг (реинжиниринг) является востребованной услугой для производителей в случае необходимости импортозаместить любой компонент, изделие или материал, из которого оно изготовлено, восстановить конструкторскую документацию или процесс производства в целом. В данной работе было проведено исследование материалов, из которых изготовлены пластиковые шнеки ледобуров от различных производителей. Проведен анализ элементного состава материала, плотности, растворимости, содержание наполнителя, а также ИК-спектроскопия. По результатам анализа подобраны наиболее предпочтительные материалы для изготовления целевых изделий.

Ключевые слова: реинжиниринг, полипропилен, полиоксиметилен, полиацеталь, полиэтилен, полиамид, синтетическая смола, литье под давлением.

Для цитирования: Ефрюшин Д. Д., Беушев А. А. Реверсивный инжиниринг полимерных материалов на примере производства ледобура с пластиковым шнеком // Ползуновский вестник. 2023. № 4, С. 230–236. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.029. EDN: <https://elibrary.ru/ZHZDWA>.

REVERSE ENGINEERING OF POLYMER MATERIALS ON EXAMPLE OF PRODUCTION OF ICE DRILL WITH PLASTIC AUGER

Danil D. Efrushin ¹, Aleksandr A. Beushev ²

^{1, 2} Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

² baa7@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0233-3805>

Abstract. Reverse engineering (reengineering) is a high-demand service for manufacturers if they need to produce any import-substituting component, product, or material, recreate design documentation, or the whole production process. The current paper presents the results of a study of the materials of plastic augers for ice drills from various manufacturers. The authors conducted an analysis of the elemental composition of the material, density, solubility, and filler content, as well as the IR spectrometry analysis. Based on the results of the analysis, the most preferred materials for the manufacture of target products were selected.

Keywords: reengineering, polypropylene, polyoxymethylene, polyacetal, polyethylene, polyamide, synthetic resin, pressure casting.

For citation: Efrushin, D. D. & Beushev, A. A. Reverse engineering of polymer materials on example of production of ice drill with plastic auger. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 230-236. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.029. EDN: <https://elibrary.ru/ZHZDWA>.

РЕВЕРСИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРИМЕРЕ ПРОИЗВОДСТВА ЛЕДОБУРА С ПЛАСТИКОВЫМ ШНЕКОМ

ВВЕДЕНИЕ

Реверсивный инжиниринг – это процесс создания точной копии объекта по уже существующему образцу, обладающей такими же физическими и физико-механическими параметрами. Данный процесс требуется для производителей в случае необходимости импортозаместить компонент, изделие, материал, из которого оно изготовлено, восстановить конструкторскую документацию или процесс производства в целом.

Процесс реверсивного инжиниринга успешно реализуется на экспериментальной производственной площадке химической инженерии ИЦ «ХимБиоМаш» (АлтГТУ, г. Барнаул).

В рассматриваемом случае было проведено исследование материалов, из которых изготовлены пластиковые шнеки ледобуров от различных производителей. Выбрав наиболее предпочтительный и перспективный материал, один из производителей г. Барнаула планирует наладить производство подобных буров.

Для чистоты эксперимента на анализ представлены только фрагменты изделий различного цвета, без указания конкретного производителя.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

На анализ представлен фрагмент пластикового шнека ледобура зеленого цвета.

Пластмассовая часть представленного образца проанализирована на растворимость и поведение в пламени.

Образец не растворим в серной кислоте, ацетоне, этилацетате, изопропиловом спирте, хлористом метиле, четыреххлористом углероде, уксусной кислоте. В бензоле и толуоле незначительно набухает, растворяясь при кипячении.

Элементный анализ показал наличие углерода и водорода.

Анализ ИК-спектра показал для образца наличие следующих полос поглощения (схема 1): интенсивные при 2940, 1470, 1350, 715 см^{-1} , характерные для полиэтилена. Четкие средней интенсивности 1160, 1000, 970, 840 см^{-1} , интенсивные при 1370 см^{-1} , слабые в области 1330–770 см^{-1} , характерные для полипропилена.

Полученный спектр согласуется с базой данных как polypropyleneandpoly (ethylene-copropylene).

При термической обработке образца в муфельной печи при температурах 600, 800 и 1000 °С установлено, что полимерный образец содержит минеральный наполнитель (каолин) в количестве 10,14 %.

Анализ плотности изучаемого материала показал значение 1,002 $\text{г}/\text{см}^3$ [1].

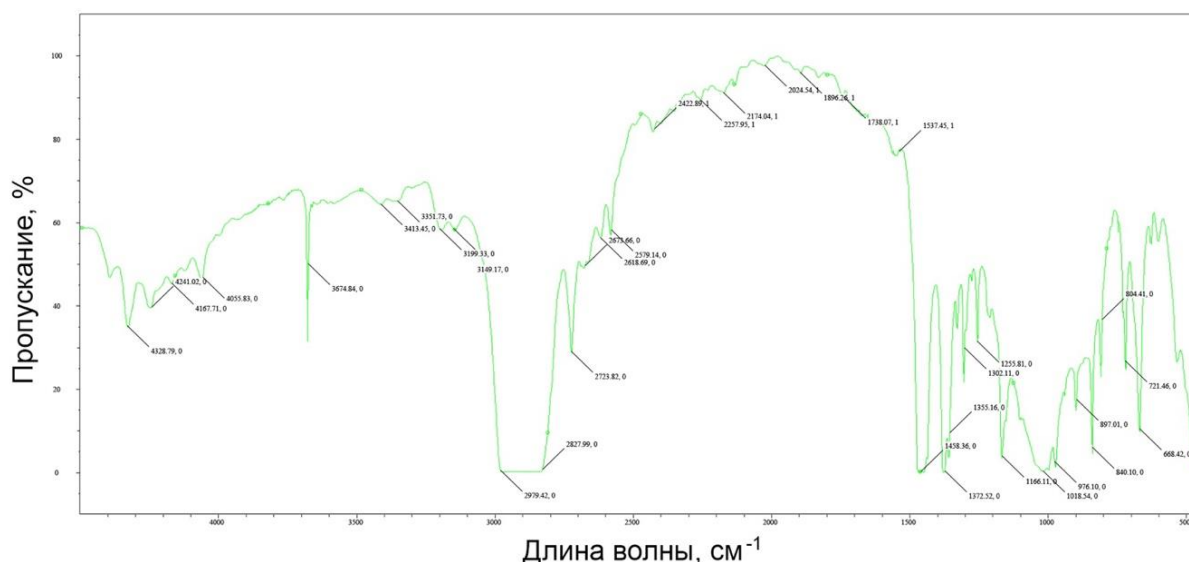


Рисунок 1 – ИК-спектр изучаемого образца зеленого цвета

Figure 1 – IR spectrum of the studied green sample

Сопоставляя данные, полученные при исследовании представленного образца органолептическим методом, определения растворимости, элементного состава, плотности, а также ИК-спектрометрии, можно сделать выводы, что представленный образец относится к классу полиолефинов, а именно смесью полиэтилена высокого давления и полипропилена [2].

При подборе конкретной марки аналогов представленного на анализ образца следует руководствоваться результатами химического анализа, плотности, наличия наполнителя, а также условиями работы изделия.

Термодинамически изотактический полипропилен (ПП) и полиэтилен высокого давления (ПЭВД) являются несовместимыми

материалами, т.к. образуют кристаллографические решетки различного типа. Их структура формируется отдельно в зависимости от условий, что непосредственно связано с различием температур плавления.

Основным полимером в данном случае является ПП, а ПЭВД служит вспомогательной добавкой, которая приводит к более совершенному структурообразованию основного материала. ПЭВД выполняет роль структурного модификатора, облегчающего деформирование материала, способствующего структурным перестройкам и увеличивающего степень ориентации ПП-компонента.

Рассматриваемую композицию на основе более жесткого полимера (ПП) с добавками гибкоцепного (ПЭВД) называют структурно модифицированными термопластами.

Добавка инертного наполнителя, в данном случае каолина, в количестве 10 масс. % вводится с целью снижения стоимости сырья, улучшения физико-механических характеристик и придания непрозрачности (матовости) готовому изделию. Также каолин увеличивает прочностные характеристики и сопротивление к истиранию, а также имеет меньший абразивный эффект на шнек и материальный цилиндр перерабатывающего оборудования, чем мраморная мука, которая применяется для наполнения подобных изделий.

Таблица 1 – Характеристики полипропилена марки Толен 23007-30Т

Table 1 – Characteristics of polypropylene of the Tolен 23007-30T brand

Наименование показателя	Значение
Показатель текучести расплава, г/10 мин	0,2–0,9
Разброс ПТР, %, не более	±15
Предел текучести при растяжении, Мпа, не менее	23
Массовая доля летучих веществ, %, не более	0,12
Относительное удлинение при пределе текучести, %, не менее	12
Относительно удлинение при разрыве, %, не менее	500
Стойкость к термоокислительному старению, ч, не менее	2000

На анализ также был представлен пластиковый фрагмент желтого цвета.

Образец не растворим в бензоле, толуоле, ацетоне, изопропиловом спирте, хлористом метиле, четыреххлористом углероде. В этилацетате незначительно набухает. Растворяется в холодной серной кислоте и горячей уксусной кислоте с окрашиванием раствора в желтый цвет. В горячей серной кислоте разлагается.

Элементный анализ показал наличие углерода, водорода и кислорода.

Анализ ИК-спектра (схема 2) показал для образца наличие следующих полос поглощения. Полосы 938 и 1097 см⁻¹ соответствуют симметричным и асимметричным колебаниям групп С-О. Полоса 903 см⁻¹ обусловлена взаимодействием маятниковых колебаний групп СН и скелетных

В качестве альтернативного материала можно использовать полипропилен марки Толен 23007-30Т. Данный материал предназначен для производства водопроводных и канализационных труб, изделий методом выдува, тонкостенных изделий технического и бытового назначения со сложным профилем.

Основные характеристики Толена 23007-30Т представлены в таблице 1.

Также в качестве основного материала допускается использование любого экструзионного полипропилена с показателем текучести расплава 3,0 г/10 мин.

Согласно ГОСТ 16337-77, полиэтилен высокого давления, производимый в Российской Федерации, выпускается двух базовых марок в зависимости от способа изготовления (№ 108 – в автоклавах, № 158 – в трубчатых реакторах) и трех сортов для каждой марки. ПВД-10803-020 – один из лучших материалов для изготовления экструдированных изделий, он не гниет, не разрушается и не поддается коррозии, является умеренно жестким материалом, устойчив к агрессивным средам. ПВД-158 может давать самые тонкие материалы. В качестве структурирующей добавки ПВД может использоваться полиэтилен обеих марок.

колебаний цепи полиоксиметилена. Полоса 1238 см⁻¹ обусловлена взаимодействием маятниковых колебаний групп СН и деформационных колебаний в цепи ПОМ.

Полосы в области 400–1500 см⁻¹ связаны с конформацией цепи гексагонального ПОМ.

Гексагональный ПОМ в области валентных колебаний групп СН имеет полосы поглощения 2790, 2920, 2978 см⁻¹.

Полученный спектр согласуется с базой данных как polyacetal (polyoxymethylene).

При термической обработке образца в муфельной печи при температурах 600, 800 и 1000 °С минеральных наполнителей не обнаружено. Анализ плотности изучаемого материала показал значение 1,410 г/см³ [1].

РЕВЕРСИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРИМЕРЕ ПРОИЗВОДСТВА ЛЕДОБУРА С ПЛАСТИКОВЫМ ШНЕКОМ

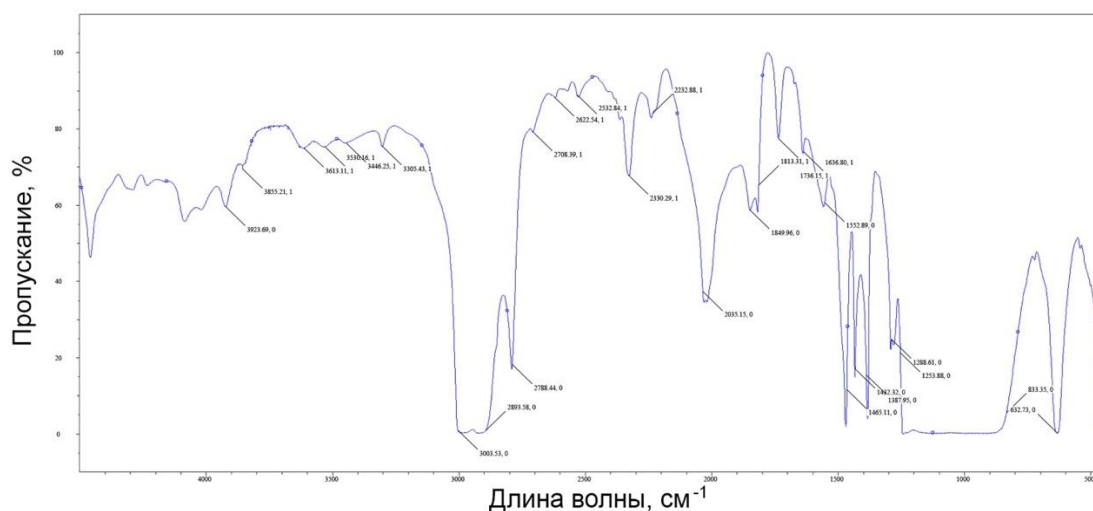


Рисунок 2 – ИК-спектр изучаемого образца желтого цвета

Figure 2 – The IR spectrum of the studied yellow sample

Сопоставляя данные, полученные при исследовании представленного образца органолептическим методом, определения растворимости, элементного состава, плотности, а также ИК-спектрометрии, можно сделать выводы, что представленный образец относится к классу полиацеталей (полиоксиметилен, полиформальдегид).

При подборе конкретной марки аналогов представленного на анализ образца следует руководствоваться результатами химического анализа, плотности, наличия наполнителя, а также условиями работы изделия.

Полиоксиметилен (РОМ, полиацеталь, полиформальдегид) – продукт полимеризации формальдегида. Различают две группы данного инженерного пластика, незначительно отличающиеся друг от друга свойствами и способом получения (таблица 2):

- РОМ-Н (гомополимер) имеет более высокую температуру плавления и более высокую прочность, но чувствителен к гидролизу с непрерывным воздействием горячей воды более 60 °С и к пару.

- РОМ-С (сополимер) имеет ниже прочность, но более высокую ударную вязкость, высокая стойкость к щелочам и хорошая стойкость к гидролизу при воздействии горячей воды и пара.

Данный полимер устойчив к действию агрессивных сред, таких как автомобильные масла, различные виды топлива, органические растворители, слабые кислоты и растворы минеральных кислот. Материал не гигроскопичен,

не выделяет вредных веществ, следовательно, абсолютно безопасен для человека.

Среди отличительных особенностей полиоксиметилена следует отметить:

1. Высокую жесткость, твердость, стойкость к динамическим нагрузкам, самосмазываемость.
2. Материал термопластичен.
3. Высокую ударную вязкость и модуль упругости при растяжении и сжатии (3000 МПа).
4. Материал не подвергается усталостным изменениям.
5. При высоких нагрузках не подвержен ползучести.
6. Износоустойчивость.
7. Низкий коэффициент трения.
8. Легкая обработка.
9. Стабильность параметров при нагревании, глубоком охлаждении и высокой влажности.
10. Является диэлектриком.
11. Поверхность изделий характеризуется твердой, гладкой и блестящей фактурой.
12. Изделия легко подвергаются окрашиванию.

Исходя из полученных данных, образец выполнен из полиоксиметилена марки РОМ-С, наиболее подходящим альтернативным вариантом является РОМ-С KEPITAL F20-03 (базовая марка; ПТР 9 г/10 мин; стандартные и сбалансированные свойства).

На анализ представлен пластиковый фрагмент черного цвета.

Таблица 2 – Основные показатели марок полиоксиметилена

Table 2 – Main indicators of polyoxymethylene grades

Показатели	РОМ-Н	РОМ-С
Предельная отрицательная температура эксплуатации, °С	-60	-60
Плотность, г/см ³	1,43	1,41
Эластичность, Мпа	3,600	2,800
Рабочая температура, °С	110	100
Предельная температура, °С	150	140
Температура плавления, °С	173–180	164–172
Степень кристалличности, %	70–100	60–80

Образец не растворим в бензоле, толуоле, ацетоне, этилацетате, изопропиловом спирте, хлористом метилена, уксусной кислоте, холодной серной кислоте. Медленно растворяется в горячем четыреххлористом углероде. В горячей серной кислоте медленно разлагается.

Элементный анализ показал наличие углерода и водорода.

Анализ ИК-спектра (рисунок 8) показал для образца наличие следующих полос по-

глощения: интенсивные при 2940, 1470, 1350, 715 см⁻¹, характерные для полиэтилена.

Полученный спектр согласуется с базой данных как poly(ethylene).

Анализ плотности изучаемого материала показал значение 0,931 г/см³ [1].

При термической обработке образца в муфельной печи при температурах 600, 800 и 1000 °С минеральных наполнителей не обнаружено.

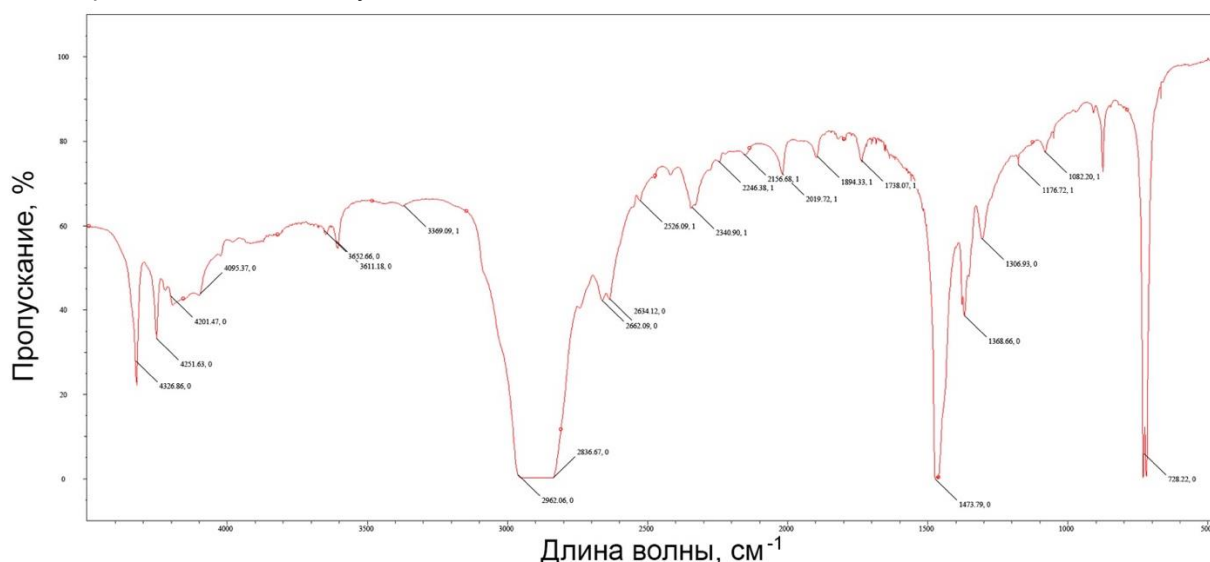


Рисунок 3 – ИК-спектр изучаемого образца черного цвета

Figure 3 – The IR spectrum of the studied black sample

Сопоставляя данные, полученные при исследовании представленного образца органолептическим методом, определения растворимости, элементного состава, плотности, а также ИК-спектроскопии можно сделать выводы, что представленный образец относится к классу полиолефинов, в частности, полиэтилену.

При подборе конкретного аналога представленного на анализ образца следует руководствоваться результатами химического анализа, плотности, наличия наполнителя, а также условиями работы изделия.

Полиэтилен высокого давления (ПВД, ПЭВД, полиэтилен низкой плотности, ПНП, ПЭНП) – это термопластичный полимер с

общей формулой (C₂H₄)_n, получаемый методом полимеризации этилена под действием высоких температур (до 180 °С), давления (до 300 атм) в присутствии кислорода. Материал изготавливается в виде гранул плотностью 900–930 кг/м³. Температура плавления 100–115 °С, температура хрупкости до –120 °С.

Изделия, изготовленные из ПЭВД, обладают следующими свойствами:

- гибкостью и мягкостью;
- гладкой и блестящей поверхностью;
- механической и ударной прочностями, устойчивостью к растяжению и сжатию;
- возможностью эксплуатации изделий при низкой температуре;

РЕВЕРСИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРИМЕРЕ
ПРОИЗВОДСТВА ЛЕДОБУРА С ПЛАСТИКОВЫМ ШНЕКОМ

- полной влаго- и воздухопроницаемо-
стью материала;
- свето- и озоностойкостью;

- абсолютной безопасностью для чело-
века и окружающей среды.

Таблица 3 – Характеристики ПВД 10803-020 108 ГОСТ 16337-77

Table 3 – Characteristics of LDPE 10803-020 108 GOST 16337-77

Наименование показателя	Высший сорт
Плотность, г/см ³	0,917–0,920
Показатель текучести расплава, г/10 мин	1,8–2,2
Разброс показателя текучести расплава в пределах партии, %, не более	±5
Предел текучести при растяжении, МПа (кгс/см ²), не менее	9,3 (95)
Прочность при разрыве, МПа (кгс/см ²), не менее	12,2 (125)
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее	550
Стойкость к растрескиванию, ч, не менее	2
Запах и привкус водных вытяжек, балл, не выше	1
Массовая доля экстрагируемых веществ, %, не более	0,7

На анализ представлен пластиковый фрагмент красного цвета.

Образец не растворим в ацетоне, этилацетате, изопропиловом спирте, бензоле, толуоле. В серной кислоте изменяет окраску на зеленую с последующим растворением, в горячей уксусной кислоте растворяется с образованием красного раствора.

Элементный анализ полимерной части показал наличие углерода, водорода, кислорода и азота.

Анализ ИК-спектра (схема 4) показал для образца наличие следующих полос поглощения: карбоксильные группы (характеристические полосы поглощения в области 2560 и 1730 см⁻¹), аминогруппы (полоса поглощения в области 3200–3400 см⁻¹), амидные группы (полосы поглощения в областях 3500, 1580 см⁻¹).

При термической обработке образца в муфельной печи при температурах 600, 800 и 1000 °С минеральных наполнителей не обнаружено.

Анализ плотности изучаемого материала показал значение 1,103 г/см³ [1].

Сопоставляя данные, полученные при исследовании представленного образца органолептическим методом, определения растворимости, элементного состава, плотности, а также ИК-спектрометрии, можно сделать выводы, что представленный образец относится к классу полиамидов.

Анализируемый образец – это полиамид-66, известен под торговой маркой «нейлон» (в РФ не производится), однако его полным аналогом является полиамид-6, торговая марка «капрон» (производится в РФ). Данные полимеры имеют схожие свойства.

В качестве аналога использовать экструзионные полиамиды. Для улучшения физико-механических показателей можно использовать стеклонаполненные полиамиды, например, марки ПА 6 СВ 25 красный 194 или ПА 6 СВ 30 желтый 217 (табл. 4) [5, 6].

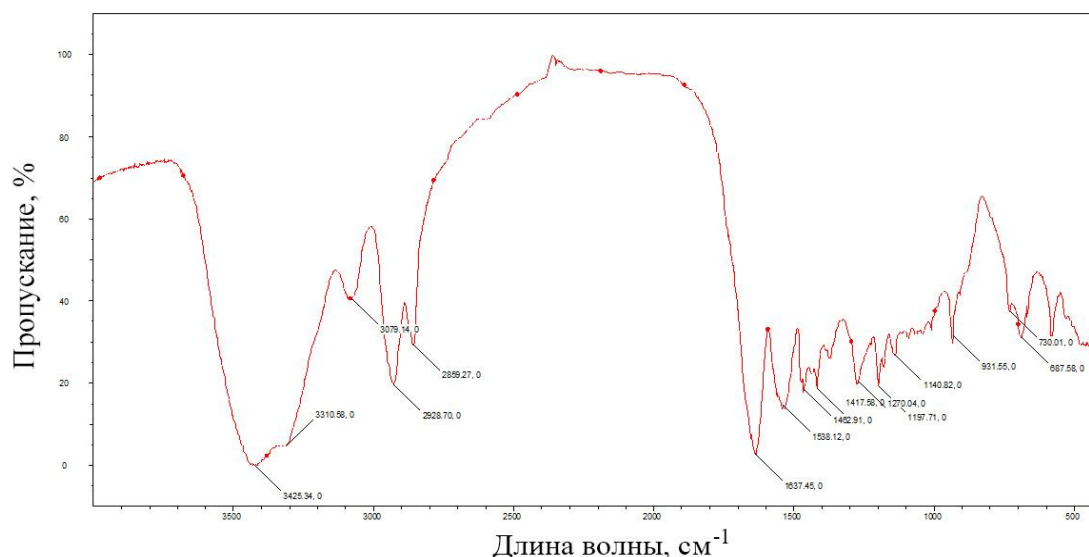


Рисунок 4 – ИК-спектр изучаемого образца красного цвета

Figure 4 – The IR spectrum of the studied red sample

Таблица 4 – Основные свойства полиамидов, предлагаемых в качестве альтернативных
Table 4 – Main properties of polyamides offered as alternatives

Основные свойства	Полиамид ПА 6 СВ 25 красный 194	Полиамид ПА 6 СВ 30 желтый 217
ПТР, г/10 мин при стандартных нагрузках и температуре	4,0–12,0	4,0–12,0
Предел текучести при растяжении, МПа, не менее	110	120
Относительное удлинение при разрыве, % не менее	5	4
Ударная вязкость по Шарпи, кДж/м	> 35	> 35
Модуль упругости при изгибе, МПа	7500	8200

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рассматриваемой работе был проведен реверсивный инжиниринг полимерных материалов, из которых изготавливаются пластиковые шнеки ледобуров различных производителей.

Экспериментальным путем установлено, что представленные образцы являются различными материалами с различными свойствами. А именно: образец зеленого цвета выполнен из полипропилена с добавкой полиэтилена, а также содержит 10,14 % каолина в качестве инертного наполнителя; желтого цвета, выполнен из полиоксиметилена (он же POM, полиацеталь, полиформальдегид); образец черного цвета, выполнен из полиэтилена высокого давления (низкой плотности); красного цвета, выполнен из полиамида-6.

Для каждого из представленных на реинжиниринг материалов были подобраны аналоги, доступные на рынке Российской Федерации.

Наиболее предпочтительным материалом, который может использоваться для производства пластиковой части ледобура, является композиция на основе полипропилена марки Толен 23007-30Т со структурирующей добавкой ПВД-108 или ПВД-158, а также полиоксиметилена POM-C KERITAL F20-03.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 15139-68 (СТ СЭВ 891-78) Пластмассы. Метод определения плотности (объемной массы). Введен в действие постановлением Комитета стандартов, мер и измерительных приборов

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.*

Статья поступила в редакцию 26 марта 2023; одобрена после рецензирования 18 сентября 2023; принята к публикации 20 ноября 2023.

The article was received by the editorial board on 26 Mar 2023; approved after editing on 18 Sep 2023; accepted for publication on 20 Nov 2023.

при Совете Министров СССР от 17 декабря 1969 г. № 1365, 1970, 17 с.

2. ГОСТ 26996-86. Полипропилен и сополимеры пропилена. Технические условия; введен в действие постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 23 сентября 1986 г. № 2749, 1988, 34 с.

3. ГОСТ 16337-77. Полиэтилен высокого давления; утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 11.10.77 № 2425, 1979, 78 с.

4. ГОСТ 16338-85. Полиэтилен низкого давления. Введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 20 декабря 1985 г. № 4272 (дата введения установлена 01.01.87), 1987, 33 с.

5. ГОСТ 17648-83. Полиамиды стеклонаполненные; утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 18.02.83 № 848, 1984, 18 с.

6. ГОСТ 10589-87. Полиамид 610 литьевой. Технические условия; разработан и внесен Министерством химической промышленности, 1988, 20 с.

Информация об авторах

Д. Д. Ефрюшин – к.х.н., доцент кафедры ХТ АлтГТУ.

А. А. Беушев – к.х.н., доцент кафедры ХТ АлтГТУ.

Information about the authors

D. D. Efyushin - PhD, Associate Professor of the Department of HT AltSTU;

A. A. Beushev - PhD, Associate professor of the Department of HT AltSTU.



Научная статья
2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)
УДК 665.753.4.097

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.030

 EDN: NJFSDQ

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКОЙ СМЕСЕЙ ПРЯМОГОННОЙ ДИЗЕЛЬНОЙ ФРАКЦИИ И РАПСОВОГО МАСЛА

Дарья Вячеславовна Соснина ¹, Андрей Андреевич Алтынов ²,
Мария Владимировна Киргина ³, Илья Александрович Богданов ⁴

^{1, 2, 3, 4} Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

¹ dvs66@tpu.ru, <https://orcid.org/0009-0004-7686-4742>

² altynov_andrey@tpu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7216-1773>

³ mkirgina@tpu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7407-8845>

⁴ iab12@tpu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2327-5395>

Аннотация. В работе установлено, что совместная переработка прямогонной дизельной фракции и рапсового масла на цеолитном катализаторе позволяет получить компоненты моторных топлив. Кроме того, в результате переработки наблюдается значительное улучшение базовых физико-химических и низкотемпературных свойств полученных продуктов, что обусловлено изменением группового углеводородного состава. Выявлены закономерности превращения веществ при совместной переработке прямогонной дизельной фракции и рапсового масла на цеолитном катализаторе. Показано, что увеличение доли рапсового масла, вовлекаемого в переработку на цеолитном катализаторе, приводит к увеличению суммарной доли непредельных углеводородов в составе продуктов переработки, что, в свою очередь, приводит к увеличению плотности и снижению цетанового индекса.

Ключевые слова: прямогонная дизельная фракция, рапсовое масло, каталитическая переработка, цеолитный катализатор, топливные фракции.

Для цитирования: Получение компонентов моторных топлив каталитической переработкой смесей прямогонной дизельной фракции и рапсового масла / Д. В. Соснина [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 4, С. 237–243. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.030. EDN: <https://elibrary.ru/NJFSDQ>.

PRODUCTION COMPONENTS OF FUELS BY CATALYTIC PROCESSING OF DIESEL FRACTION AND RAPESEED OIL BLENDS

Daria V. Sosnina ¹, Andrey A. Altynov ², Maria V. Kirgina ³, Ilya A. Bogdanov ⁴

^{1, 2, 3, 4} National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

¹ dvs66@tpu.ru, <https://orcid.org/0009-0004-7686-4742>

² altynov_andrey@tpu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7216-1773>

³ mkirgina@tpu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7407-8845>

⁴ iab12@tpu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2327-5395>

Abstract. The paper found that the joint processing of straight-run diesel fraction and rapeseed oil on a zeolite catalyst makes it possible to obtain components of motor fuels. In addition, as a result of processing, a significant improvement in the basic physicochemical and low-temperature properties of the obtained products is observed, which is due to a change in the group hydrocarbon composition.

© Соснина Д. В., Алтынов А. А., Киргина М. В., Богданов И. А., 2023

The regularities of the transformation of substances during the joint processing of straight-run diesel fraction and rapeseed oil on a zeolite catalyst are revealed. It is shown that an increase in the proportion of rapeseed oil involved in processing on a zeolite catalyst leads to an increase in the total proportion of unsaturated hydrocarbons in the composition of processed products, which, in turn, leads to an increase in density and a decrease in the cetane index.

Keywords: *straight-run diesel fraction, rapeseed oil, catalytic processing, zeolite catalyst, fuel fractions.*

For citation: Sosnina, D. V., Altynov, A. A., Kirgina, M. V. & Bogdanov, I. A. (2023). Production components of fuels by catalytic processing of diesel fraction and rapeseed oil blends. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 237-243. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.030. EDN: <https://elibrary.ru/NJFSDQ>.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие мировой экономики приводит к значительному росту спроса на природные полезные ископаемые, которые, в частности, являются сырьем для производства моторных топлив. Наряду с увеличением потребления полезных ископаемых наблюдается истощение их запасов. Добываемые сейчас нефти, как правило, относятся к категории тяжелых, добыча и переработка которых требует больших капитальных и эксплуатационных затрат. Как следствие, возникает необходимость поиска возобновляемых источников энергии, из которых возможно получать углеводороды, по своему составу и свойствам близкие к углеводородам нефтяного происхождения.

В то же время географическое расположение большей части территории Российской Федерации обуславливает необходимость в получении низкосазыстающих топлив, для обеспечения бесперебойной работы различных видов техники и транспорта в условиях низких температур.

Многочисленные исследования показывают, что в настоящее время все большее распространение для получения моторных топлив и их компонентов находят процессы переработки сырья, как нефтяного, так и растительного, на цеолитсодержащих катализаторах.

Основным преимуществом цеолитсодержащих катализаторов является их устойчивость к действию каталитических ядов. Кроме того, структура цеолитов позволяет значительно уменьшить крекирующую активность катализаторов на их основе, а также снизить закоксовывание катализаторов при переработке сырья утяжеленного фракционного состава.

Широкое применение цеолиты нашли в качестве катализаторов облагораживания прямогонных бензиновых фракций. Так, в работах [1–3] показано, что переработка прямогонных бензиновых фракций с различными пределами выкипания на цеолитных катали-

заторах позволяет получать экологически чистые продукты, удовлетворяющие требованиям европейских стандартов, характеризующиеся высоким выходом и значительным увеличением октанового числа.

Однако применение цеолитных катализаторов не ограничивается лишь процессами облагораживания бензинов. В работе [4] исследован процесс совместной переработки растительного масла и вакуумного газойля на бицеолитном катализаторе, в ходе которого наблюдается увеличение конверсии и выхода бензиновой фракции, а также легких олефинов.

Авторами работы [5] было показано, что переработка смеси биомассы и отработанного растительного масла на цеолитном катализаторе структурного типа ZSM-5 позволяет получать углеводороды нефтяного ряда с выходом до 70 %. А в работе [6] при переработке масла кизила было получено биотопливо, состоящее из углеводородов, кислот, спиртов, сложных эфиров и кетонов. При этом максимальный выход углеводородов составил 89 %.

Получение компонентов моторных топлив каталитической переработкой смесей прямогонной дизельной фракции и растительного масла позволит увеличить объемы производства моторных топлив, в частности низкосазыстающих, а также снизить зависимость топливной промышленности от невозобновляемого сырья за счет вовлечения растительного масла.

Цель данной работы – получение компонентов моторных топлив каталитической переработкой смесей прямогонной дизельной фракции и рапсового масла.

Объектами исследования в работе являются прямогонная дизельная фракция (С-1), рапсовое масло, смеси прямогонной дизельной фракции и рапсового масла с долей масла 10 и 25 % об. (С-2 и С-3 соответственно), продукты их переработки на цеолитном катализаторе, а также топливные фракции, полученные в результате разделения продуктов каталитической переработки.

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКОЙ СМЕСЕЙ ПРЯМОГОННОЙ ДИЗЕЛЬНОЙ ФРАКЦИИ И РАПСОВОГО МАСЛА

Предмет исследования – состав и свойства сырья и продуктов каталитической переработки, а также закономерности превращения веществ, входящих в состав прямогонной дизельной фракции и рапсового масла, при их переработке на цеолитном катализаторе.

В качестве смесового компонента, используемого спрямогонной дизельной фракцией, было использовано рапсовое масло. Выбор именно рапсового масла обусловлен несколькими факторами: во-первых, выход масла с одного гектара посевной площади у рапса наибольший, во-вторых, наблюдается ежегодное увеличение посевных площадей рапса и, соответственно, увеличение объемов производства рапсового масла; кроме того, рапсовое масло не нашло широкого применения в пищевой промышленности.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Процесс каталитической переработки осуществлялся на лабораторной каталитической установке «CATACON», предназначенной для исследования процессов, протекающих в проточном реакторе при давлении не выше 90 бар и температуре не выше 700 °С.

В качестве катализатора процесса был использован цеолитный катализатор структурного типа ZSM-5, марки КН-30, предоставленный ПАО «Новосибирский завод химконцентратов».

Условия каталитической переработки исследуемых образцов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Условия каталитической переработки

Table 1 – Conditions of catalytic conversion

Параметр	С-1	С-2	С-3
Температура, °С	375		425
Давление, МПа	0,35		
Скорость подачи сырья, ч ⁻¹	0,5		

Для исследуемых образцов были определены состав и свойства:

1) определение вязкости и плотности на вискозиметре Штабингера осуществлялось в соответствии с методикой, представленной в [7];

2) определение массовой доли серы осуществлялось на энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном анализаторе Спектроскан S в соответствии с методикой, представленной в [8];

3) определение температуры застывания (метод А), определение температуры помутнения (метод Б) осуществлялось с использованием жидкостного низкотемпературного термостата в соответствии с методикой, представленной в [9];

4) определение предельной температуры фильтруемости (ПТФ) осуществлялось с использованием жидкостного низкотемпературного

термостата и установки определения ПТФ дизельного топлива на холодном фильтре в соответствии с методикой, представленной в [10];

5) определение фракционного состава осуществлялось в соответствии с методикой, представленной в [11];

6) определение группового состава анилиновым методом осуществлялось в соответствии с методикой, представленной в [12];

7) определение цетанового индекса (ЦИ) осуществлялось в соответствии с методикой, представленной в [13].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В соответствии с представленными методами исследования были определены состав и свойства образцов, используемых в качестве сырья процесса переработки на цеолитном катализаторе (таблица 2).

Таблица 2 – Состав и свойства сырья

Table 2 – Composition and properties of raw materials

Характеристика	С-1	С-2	С-3
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм ² /с	2,59	3,43	5,80
Плотность при 15 °С, кг/м ³	798,6	810,0	828,9
Массовая доля серы, мг/кг	661	544	439
ЦИ, пункты	55,1	53,2	53,5
Температура помутнения, °С	-22	-23	-21
ПТФи, °С	-23	-36	-31
Температура застывания, °С	-37	-36	-34
Фракционный состав, °С:			
0 % об.;	150	135	122
10 % об.;	167	160	162
50 % об.;	227	235	263
90 % об.	325	327	330

Как можно видеть из результатов, представленных в таблице 2, исходная дизельная фракция С-1 по физико-химическим свойствам, таким как плотность (не более 863,4 кг/м³) и кинематическая вязкость (3,0-6,0 мм²/с), а также по низкотемпературным свойствам (ПТФ не выше -15 °С), фракционному составу (50 % об. перегоняется при температуре не выше 280 °С, 90 % об. – при температуре не выше 360 °С) и значению ЦИ (не менее 45 пунктов) соответствует межсезонному дизельному топливу согласно [14].

Также можно видеть, что при добавлении к С-1 10 и 25 % об. рапсового масла наблюдается увеличение вязкости (на 0,84 и 3,21 мм²/с соответственно) и плотности (на 11,4 и 30,3 кг/м³ соответственно), снижение массовой доли серы (на 117 и 222 мг/кг соответственно), улучшение низкотемпературных

свойств (снижение ПТФ на 13 и 8 °С соответственно), а также изменение фракционного состава, которое заключается в облегчении начала кипения (на 15 и 28 °С соответственно) смесей С-2 и С-3 по сравнению с С-1.

Результаты определения группового состава С-1 показали, что преобладающей группой углеводородов в сырье являются парафины (74,1 % мас.), затем следуют непредельные углеводороды (17,3 % мас.) и нафтеновые углеводороды (8,6 % мас.). Групповой состав для смесей С-2 и С-3 не определялся, поскольку рапсовое масло, используемое в качестве смешанного компонента, представляет собой углеводородное сырье, состоящее из жирных кислот различной молекулярной массы.

В соответствии с условиями, представленными в таблице 1, была осуществлена переработка исследуемых образцов на цеолитном катализаторе.

Результаты определения состава и свойств полученных продуктов переработки представлены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3 – Групповой состав продуктов переработки
Table 3 – Group composition of processed products

Группа углеводородов, % мас.	П-1	П-2	П-3
Непредельные	40,3	40,9	44,9
Нафтеновые	9,8	6,7	10,8
Парафиновые	49,9	52,4	44,3

*П-1, П-2, П-3 – продукты переработки С-1, С-2, С-3 соответственно.

Преобладающей группой углеводородов в полученных продуктах являются парафины (для П-1 и П-2) и непредельные углеводороды (для П-3), промежуточное положение занимают непредельные углеводороды (для П-1 и П-2) и парафины (для П-3), а наименьшую долю составляют нафтеновые углеводороды (таблица 3).

Полученные результаты изменения углеводородного состава при переработке исследуемых образцов на цеолитном катализаторе согласуются с представлениями о цеолитном катализе: основными реакциями, протекающими при переработке на цеолите, характерными для углеводородных соединений, являются реакции крекинга тяжелых длинноцепочечных парафиновых углеводородов с образованием более короткоцепочечных парафинов и олефинов. Образовавшиеся в результате крекинга короткоцепочечные олефины вступают в реакции перераспределения водорода с образованием непредельных, в том числе ароматических соединений. Образовавшиеся диеновые углеводороды вступают в реакции диенового синтеза с образованием циклоолефинов, которые, в свою очередь, подвергаются

перераспределению водорода с образованием ароматических и нафтеновых углеводородов.

Для углеводородных соединений – жирных кислот рапсового масла – характерны реакции декарбонизации и декарбосилирования, в результате которых образуются тяжелые олефины и алкины. Образовавшиеся тяжелые олефиновые углеводороды подвергаются крекингу с образованием более короткоцепочечных парафинов, а также олефинов, вступающих в реакции перераспределения водорода с образованием непредельных, в том числе ароматических соединений.

Изменение доли парафиновых и нафтеновых углеводородов в продуктах переработки с рапсовым маслом обусловлено температурами реализации процесса. Так, для продукта П-2 наблюдается снижение массовой доли нафтеновых углеводородов с одновременным увеличением доли парафиновых углеводородов. Это объясняется тем, что температура процесса переработки П-2, которая составила 375 °С, достаточна для протекания реакций крекинга с образованием короткоцепочечных парафинов из жирных кислот рапсового масла. Из короткоцепочечных олефинов в результате протекания реакций перераспределения водорода с термодинамической точки зрения наиболее вероятно образование ароматических соединений (наблюдаемое увеличение доли непредельных углеводородов), образование нафтенов через диеновый синтез наиболее вероятно из более длинноцепочечных олефинов (наблюдаемое снижение доли нафтеновых углеводородов).

В составе продукта П-3, который был получен в результате переработки при температуре 425 °С, наоборот, наблюдается увеличение доли нафтеновых углеводородов и снижение доли парафиновых углеводородов по сравнению с П-1. Полученные результаты говорят о том, что 425 °С – температура, при которой образовавшиеся в результате крекинга жирных кислот тяжелые олефины не крекируют, а вступают в многостадийные реакции образования нафтенов.

Изменение группового состава продуктов, полученных в результате переработки исследуемых образцов на цеолитном катализаторе, обуславливает изменение физико-химических и низкотемпературных свойств (таблица 4).

По результатам, представленным в таблице 4, можно видеть, что по кинематической вязкости продукты каталитической переработки не удовлетворяют требованиям [14], так как значения вязкости ниже регламентируемых диапазонов.

**ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКОЙ
СМЕСЕЙ ПРЯМОГОННОЙ ДИЗЕЛЬНОЙ ФРАКЦИИ И РАПСОВОГО МАСЛА**

Таблица 4 – Состав и свойства продуктов переработки

Table 4 – Composition and properties of processing products

Характеристика	П-1	П-2	П-3
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм ² /с	1,35	1,38	1,43
Плотность при 15 °С, кг/м ³	800,5	793,3	806,5
Массовая доля серы, мг/кг	232	284	252
ЦИ, пункты	55,3	53,5	48,9
Температура помутнения, °С	ниже -70	ниже -70	ниже -70
ПТФ, °С	ниже -70	ниже -70	ниже -70
Температура застывания, °С	ниже -70	ниже -70	ниже -70
Фракционный состав, °С:			
0 % об.;	46	35	41
10 % об.;	123	88	100
50 % об.;	230	216	218
90 % об.	338	321	337

По плотности (не более 833,5 кг/м³), массовой доле серы (не более 500 мг/кг) и фракционному составу (50 % об. перегоняется при температуре не выше 255 °С, 90 % об. – при температуре не выше 360 °С) и значению ЦИ (не менее 45 пунктов), полученные продукты каталитической переработки удовлетворяют требованиям [14], предъявляемым для арктической марки дизельных топлив.

Низкотемпературные свойства полученных продуктов также удовлетворяют требованиям [14] для арктической марки дизельных топлив (ПТФ не выше -45 °С).

Крекинг парафиновых углеводородов приводит к снижению плотности и вязкости, облегчению фракционного состава, улучшению низкотемпературных свойств полученных продуктов переработки.

Также можно видеть, что вовлечение рапсового масла привело к незначительному увеличению вязкости полученных продуктов, а также к снижению для П-2 и увеличению для П-3 плотности (на 7,2 и 6,0 кг/м³ соответственно) по сравнению с П-1. Изменение плотности для продуктов совместной переработки с маслом объясняется тем, что из различных групп углеводородов наибольшей плотностью обладают ароматические, а наименьшей – парафиновые углеводороды, что наглядно отражает групповой состав полученных продуктов. Для П-2 наблюдается увеличение доли парафиновых углеводородов и, соответственно, снижение плотности, а для П-3 – увеличение доли непредельных углеводородов и повышение плотности по сравнению с П-1.

Снижение ЦИ у продуктов совместной переработки с маслом П-2 и П-3 (на 1,8 и

6,4 пункта соответственно) обусловлено образованием непредельных, в частности, ароматических соединений, которые обладают наименьшими значениями ЦИ по сравнению с другими группами углеводородов.

Кроме того, продукты, полученные в результате переработки смесей прямогонная дизельная фракция/рапсовое масло на цеолитном катализаторе, характеризуются значительным облегчением начала кипения и широким фракционным составом (таблица 4).

Значения вязкости полученных продуктов не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к дизельным топливам в соответствии с [14] и обуславливают необходимость разделения П-2 и П-3 на топливные фракции, такие как бензиновая (БФ), керосиновая (КФ) и дизельная (ДФ) с пределами выкипания н.к.-180 °С, 140–240 °С, 180 °С-к.к. соответственно.

Результаты определения характеристик топливных фракций, полученных при разделении продуктов переработки смесей прямогонной дизельной фракции и рапсового масла на цеолитном катализаторе, представлены в таблицах 5–7.

Бензиновая фракция, полученная в результате разделения продукта каталитической переработки смеси прямогонной дизельной фракции и 10 % об. рапсового масла, удовлетворяет требованиям [15] для бензина марки АИ-80 экологического класса К2 (содержание бензола не более 5 % об.). Бензиновая фракция продукта каталитической переработки прямогонной дизельной фракции и 25 % об. рапсового масла не удовлетворяет требованиям [15] по содержанию бензола (не более 1 % об. для экологического класса К5 и не более 5 % об. для К2) ароматических соединений (не более 35,0 % об. для экологического класса К5) и плотности (725,0–780, кг/м³). Однако полученная бензиновая фракция характеризуется высоким значением ОЧИ (более 90,0 пунктов) и может быть использована в качестве смесового компонента при получении товарных бензинов методом компаундирования.

Таблица 5 – Характеристики бензиновых фракций продуктов переработки смесей

Table 5 – Characteristics of gasoline fractions of processed mixtures

Характеристика	Фракция	
	БФ(П-2)	БФ(П-3)
Октановое число, пункты: по исследовательскому методу;	85,8	91,4
по моторному методу	79,3	85,0
Объемная доля бензола, %	2,2	5,4
Объемная доля углеводородов, %:		
олефиновых;	9,4	11,1
ароматических	22,3	43,4
Плотность при 15 °С, кг/м ³	754,3	787,0

Таблица 6 – Характеристики керосиновых фракций продуктов переработки смесей

Table 6 – Characteristics of kerosene fractions of processed mixtures

Характеристика	Фракция	
	КФ(П-2)	КФ(П-3)
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм ² /с	1,26	1,28
Плотность при 20 °С, кг/м ³	813,5	819,5
Массовая доля серы, мг/кг	99	106
Температура начала кристаллизации, °С	ниже -70	ниже -70

Керосиновые фракции КФ(П-2) и КФ(П-3), полученные из продуктов переработки по низкотемпературным и физико-химическим свойствам, соответствуют требованиям, предъявляемым [16] для марки РТ (температура начала кристаллизации не выше -55 °С, вязкость не ниже 1,25 мм²/с, плотность не ниже 775 кг/м³).

Таблица 7 – Характеристики дизельных фракций продуктов переработки смесей

Table 7 – Characteristics of diesel fractions of processed mixtures

Характеристика	Фракция	
	ДФ(П-2)	ДФ(П-3)
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм ² /с	4,16	4,57
Плотность при 15 °С, кг/м ³	847,9	854,7
Массовая доля серы, мг/кг	473	423
ПТФ, °С	-46	-45

Дизельные фракции, полученные в результате разделения продуктов переработки П-2 и П-3 по низкотемпературным свойствам, соответствуют требованиям [14], предъявляемым для арктической марки дизельных топлив (ПТФ не выше -45 °С) (таблица 7). Однако по физико-химическим свойствам фракции ДФ(П-2) и ДФ(П-3) соответствуют требованиям для межсезонного по плотности (не выше 863,4 кг/м³) и зимнего по вязкости (1,8–5,0 мм²/с) дизельного топлива [14].

Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности и перспективности разделения полученных продуктов совместной переработки прямогонной дизельной фракции и рапсового масла на цеолитном катализаторе для получения компонентов различных топлив – бензинов, керосинов и дизельных топлив.

ВЫВОДЫ

В ходе работы были получены следующие результаты:

1. Установлено, что образец прямогонной дизельной фракции по физико-химическим и низкотемпературным свойствам соответствует требованиям [14] для межсезонного дизельного топлива. Показано, что при добавлении рапсового масла к прямогонной дизельной фракции в количестве 10 и 25 % об. наблюдается увеличение вязкости, плотности, снижение массовой

доли серы, снижение ПТФ, а также облегчение начала кипения.

2. Показано, что продукты переработки прямогонной дизельной фракции и смесей прямогонной дизельной фракции и рапсового масла с долей масла 10 и 25 % об. удовлетворяют требованиям [14] для арктической марки дизельных топлив по плотности, массовой доле серы, низкотемпературным свойствам и фракционному составу. Кинематическая вязкость полученных продуктов ниже диапазона, установленного требованиями [14].

3. Выявлены закономерности превращения веществ при переработке прямогонной дизельной фракции и смесей прямогонной дизельной фракции и рапсового масла на цеолитном катализаторе. Установлено, что изменение группового углеводородного состава обусловлено протеканием реакций крекинга тяжелых, длинноцепочечных парафинов с образованием короткоцепочечных парафинов и олефинов. Образующиеся короткоцепочечные олефины вступают в реакции перераспределения водорода с образованием ароматических углеводородов. Крекинг длинноцепочечных парафинов приводит к снижению кинематической вязкости, облегчению фракционного состава, улучшению низкотемпературных свойств продукта каталитической переработки. Показано, что с увеличением доли масла, вовлекаемого в переработку, в составе продуктов увеличивается доля непредельных и нафтеновых углеводородов и снижается доля парафинов. Это обусловлено тем, что при высоких температурах жирные кислоты, входящие в состав рапсового масла, подвергаются реакциям декарбонилирования и декарбонилирования с образованием непредельных углеводородов, в частности длинноцепочечных олефинов и алкинов. Из длинноцепочечных олефинов образуются диены, которые, в свою очередь, вступают в реакции образования нафтеновых и ароматических углеводородов. Также показано, что увеличение доли масла при совместной переработке приводит к повышению плотности, вязкости, снижению ЦИ и массовой доли серы, утяжелению фракционного состава продукта каталитической переработки смеси прямогонной дизельной фракции и 25 % об. рапсового масла по сравнению с продуктом переработки прямогонной дизельной фракции и 10 % об. рапсового масла, что обусловлено увеличением доли ароматических и нафтеновых углеводородов.

4. Показано, что в связи с широким фракционным составом полученных продуктов каталитической переработки целесообразным является разделение их на топливные фракции – бензиновую (н.к.-180 °С), керосиновую (140–240 °С) и дизельную (180 °С-к.к.). Показано, что полученные топливные фракции являются перспективными смесевыми компонентами моторных топлив. В частности, бензиновая фракция продукта переработки смеси прямо-

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКОЙ СМЕСЕЙ ПРЯМОГОННОЙ ДИЗЕЛЬНОЙ ФРАКЦИИ И РАПСОВОГО МАСЛА

гонной дизельной фракции и 10 % об. рапсового масла удовлетворяет требованиям [15] для бензина марки АИ-80, а бензиновая фракция продукта переработки смеси прямогонной дизельной фракции и 25 % об. рапсового масла характеризуется ОЧИ более 90 пунктов, что позволяет использовать её в качестве смесового компонента при получении товарного бензина методом компаундирования. Керосиновые фракции полученных продуктов соответствуют требованиям [16], предъявляемым для керосина марки РТ, который нашел широкое применение в качестве авиационного топлива. Дизельные фракции, полученные в результате разделения продуктов каталитической переработки, удовлетворяют требованиям для арктической марки дизельных топлив по значениям ПТФ и могут быть использованы в качестве смесевых компонентов низкокотных топлив для обеспечения бесперебойной работы различных видов техники и транспорта в условиях низких температур.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23-23-00101, <https://rscf.ru/project/23-23-00101>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зеленская Е.А. Исследование процесса облагораживания низкооктановых углеводородных фракций на органически модифицированных цеолитных катализаторах / Е.А. Зеленская, Ю.П. Ясьян, И.С. Завалинская, В.В. Илларионова // Экспозиция Нефть Газ. 2011. № 5/Н. С. 48–49.
2. Мамедов С.Э. Каталитические свойства биметаллических Zr-Zn содержащих ультрацилов в превращении прямогонной бензиновой фракции / С.Э. Мамедов, Н.Ф. Ахмедова, С.Э. Мирзалиева, А.З. Мамедова [и др.] // Башкирский химический журнал. 2019. Т. 26. № 1. С. 54–58.
3. Туктин Б.Т. Безводородное облагораживание низкосортных бензиновых фракций на модифицированных цеолит-содержащих катализаторах / Б.Т. Туктин, Л.Б. Шаповалова, А.А. Омарова, Г.Д. Закумбаева // Серия химии и технологии. 2012. № 5. С. 60–66.
4. Махмудова Л.Ш. облагораживание фракций «черного соляра» на деалюминированных цеолитах / Л.Ш. Махмудова, Х.Х. Ахмадова, З.А. Абдулмежидова, Ж.Т. Хадисова // Интеграционные процессы в науке в современных условиях. 2018. С. 159–162.
5. Dada T.K. Probing the effect of Cu-SrO loading on catalyst supports (ZSM-5, Y-zeolite, activated carbon, Al₂O₃, and ZrO₂) for aromatics production during catalytic co-pyrolysis of biomass and waste cooking oil / T.K. Dada, A. Vuppaladadiyam, A.X. Duan, R. Kumar, E. Antunes // Bioresource Technology. 2022. Vol. 360. 127515.
6. Li C. Catalytic cracking of Swidawilsoniana oil for hydrocarbon biofuel over Cu-modified ZSM-5 zeolite / C. Li, J. Ma, Z. Xiao [et. al] // Fuel. 2018. Vol. 218. P. 59–66.
7. ГОСТ 33-2016. Нефть и нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической и динамической вязкости. М. : Издательство стандартов, 2017. 34 с.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 26 марта 2023; одобрена после рецензирования 18 сентября 2023; принята к публикации 20 ноября 2023.

The article was received by the editorial board on 26 Mar 2023; approved after editing on 18 Sep 2023; accepted for publication on 20 Nov 2023.

8. ГОСТ 32139-2013. Нефть и нефтепродукты. Определение содержания серы методом энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной спектроскопии (с Поправкой). М. : Стандартинформ, 2014. 18 с.

9. ГОСТ 5066-2018. Топлива моторные. Методы определения температур помутнения, начала кристаллизации и замерзания. М. : Стандартинформ, 2019. 7 с.

10. ГОСТ 22254-92. Топливо дизельное. Метод определения предельной температуры фильтруемости на холодном фильтре. М. : Издательство стандартов, 1992. 15 с.

11. ГОСТ 2177-99. Нефтепродукты. Методы определения фракционного состава. М. : Издательство стандартов, 2001. 23 с.

12. Определение группового и структурно-группового составов нефтяных фракции : методические указания к лабораторной работе для студентов химико-технологического факультета / сост. О.С. Сухинина, А.И. Левашова. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2010. 22 с.

13. ГОСТ 27768-88 «Топливо дизельное. Определение цетанового индекса расчетным методом» [Электронный ресурс]. Электрон. дан. URL <https://docs.cntd.ru/document/1200008532>. Доступ свободный. Дата обращения: 05.06.2023.

14. ГОСТ 305-2013 «Топливо дизельное Технические условия». Электрон. дан. URL : <https://docs.cntd.ru/document/1200107826>. Доступ свободный. Дата обращения: 09.06.2023.

15. ГОСТ 32513-2013 «Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия». Электрон. дан. URL : <https://files.stroyinf.ru/Data/563/56325.pdf>. Доступ свободный. Дата обращения: 09.06.2023.

16. ГОСТ 10227-2013 «Межгосударственный стандарт. Топлива для реактивных двигателей. Технические условия» [Электронный ресурс]. Электрон. дан. URL : <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293774/4293774595.htm>. Доступ свободный. Дата обращения: 10.06.2023.

Информация об авторах

Д. В. Соснина – инженер, ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Томский политехнический университет.

А. А. Алтынов – инженер, ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Томский политехнический университет.

М. В. Киргина – к.т.н., доцент, ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Томский политехнический университет.

И. А. Богданов – ассистент, ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Томский политехнический университет.

Author information

D. V. Sosnina - engineer, National Research Tomsk Polytechnic University.

A. A. Altynov - engineer, National Research Tomsk Polytechnic University.

M. V. Kirgina - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National Research Tomsk Polytechnic University.

I. A. Bogdanov - Assistant, National Research Tomsk Polytechnic University.



Научная статья
2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)
УДК 632.151

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.031

 EDN: IRADDC

СЕРОСОДЕРЖАЩИЕ ЗАГРЯЗНИТЕЛИ И СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ ИХ КОНЦЕНТРАЦИИ

Алена Константиновна Горелкина¹, Ирина Вадимовна Тимощук²,
Евгений Николаевич Неверов³, Надежда Сергеевна Голубева⁴,
Людмила Анатольевна Иванова⁵

Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

¹ alengora@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3782-2521>

² irina_190978@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1349-2812>

³ neverov42@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3542-786X>

⁴ golnadya@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2188-8331>

⁵ lyuda_ivan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4103-8780>

Аннотация. В данной работе анализируется состав подземных и поверхностных вод на содержание сероводорода региона с повышенной антропогенной нагрузкой. Приводятся пути формирования H_2S в водных источниках как биогенного характера за счет процессов разложения и окисления органических веществ естественного происхождения и конвективный перенос в случае близкого межпластового расположения к водоносному горизонту месторождений сульфидных руд, в частности сульфида железа, так и техногенного – неудовлетворительный уровень очистки сточных вод горнодобывающей отрасли, инфильтрация с техногенно-преобразованных территорий. Описаны способы снижения минерализации в воде: физические, реагентные и биологические. Показана эффективность азрирования при определенных условиях среды как метода, применяемого для снижения уровня контаминации сероводородом. Приведен метод, эффективность которого не зависит от водородного показателя очищаемой воды.

Ключевые слова: подземные и поверхностные воды, минерализация, сероводород, извлечение.

Благодарности: Исследование выполнено в рамках комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 11.05.2022 г. № 1144-р, № соглашения 075-15-2022-1201 от 30.09.2022 г.

Для цитирования: Серосодержащие загрязнители и способы снижения их концентрации / А. К. Горелкина [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 4, С. 244–248. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.031. EDN: <https://elibrary.ru/IRADDC>.

SULFUR-CONTAINING POLLUTANTS AND WAYS TO REDUCE THEIR CONCENTRATION

Alyona K. Gorelkina¹, Irina V. Tymoshchuk², Evgeny N. Neverov³,
Nadezhda S. Golubeva⁴, Lyudmila A. Ivanova⁵

Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

© Горелкина А. К., Тимощук И. В., Неверов Е. Н., Голубева Н. С., Иванова Л. А., 2023

¹ alengora@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3782-2521>

² irina_190978@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1349-2812>

³ neverov42@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3542-786X>

⁴ golnadya@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2188-8331>

⁵ lyuda_ivan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4103-8780>

Abstract. *In this paper, the composition of underground and surface waters for the hydrogen sulfide content of a region with an increased anthropogenic load is analyzed. The ways of formation of H₂S in water sources are given, both of a biogenic nature due to the processes of decomposition and oxidation of organic substances of natural origin and deposits of sulfide ores close to the aquifer and iron sulfide in priority, and of a technogenic nature – the discharge of wastewater from mining enterprises with unsatisfactory purification. Methods of reducing mineralization in water are described: physical, reagent and biological. The aeration method has been studied and proved to be effective in removing hydrogen sulfide from natural waters. The possibility of sorption extraction of hydrogen sulfide by granular activated carbons, both for natural and wastewater, has been investigated.*

Keywords: *underground and surface waters, mineralization, hydrogen sulfide, extraction.*

Acknowledgements: *The research was carried out within the framework of a comprehensive scientific and technical program of a full innovation cycle "Development and implementation of a complex of technologies in the fields of exploration and extraction of minerals, industrial safety, bioremediation, creation of new products of deep processing from coal raw materials with a consistent reduction of the environmental burden on the environment and risks to public life", approved by Government Decree Of the Russian Federation dated 05/11/2022 No.1144-r, Agreement No. 075-15-2022- 1201 dated 30.09.2022.*

For citation: Gorelkina, A. K., Tymoshchuk, I. V., Neverov, E. N., Golubeva, N. S. & Ivanova, L. A. (2023). Sulfur-containing pollutants and ways to reduce their concentration. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 244-248. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.031. EDN: <https://elibrary.ru/IRADDC>.

ВВЕДЕНИЕ

Ресурсориентированные регионы зачастую имеют глубокие техногенные изменения экосистем, что приводит к снижению биосферных функций различных объектов, в том числе водных. Антропогенное изменение гидросферы в Кемеровской области характерно как для поверхностных водоемов, так и для подземных водоносных горизонтов.

В Кемеровской области высока вероятность прогрессирующего снижения уровня воды в водоносных горизонтах, предпосылками является не только изымание для питьевого водоснабжения, но и значительный водоотлив в процессе разработки угольных месторождений. Также происходит влияние на состав подземных вод. Значительная часть подземной воды имеет фоновый состав, превышающий нормативные показатели по ряду минеральных веществ, при снижении объема грунтовых вод вероятно концентрирование минеральных веществ. По химическому составу воды характеризуются как углекислые и гидрокарбонатные натриевые, что определяет интерес специалистов бальнеологов в отношении разработки месторождений воды такого состава. Разработка месторождений и добыча минеральной воды в Кузбассе осуществляется более чем на 150 участках [1]. Ряд месторождений характеризуется специфическими сенсорными показателями. При-

POLZUNOVSKIY VESTNIK № 4 2023

сутствие сульфида водорода (одного из самых активных соединений, содержащих серу), определяет органолептику воды и при высоких концентрациях ограничивает использование для хозяйственно-питьевых нужд. Сульфид водорода не типичный загрязнитель природных вод, формируется в некоторой степени в процессе разложения и окисления органических веществ естественного происхождения, но в большей степени обусловлен техногенным фактором [2].

Высокая минерализация поверхностных водоемов характерна для участков со значительным антропогенным использованием.

Наличие сероводорода определяет не только проблему сенсорного характера, но и токсического, так как в высоких концентрациях сероводород ядовит. Для водного хозяйства сульфид водорода является серьезной проблемой еще и по той причине, что приводит к развитию серобактерий и вызывает коррозию.

К одному из факторов, определяющих сенсорность сероводорода в составе воды, относится значение pH. Сероводород в подземных водах менее ощутим при щелочных условиях, так как присутствует в форме HS⁻-иона. Поэтому при общем содержании сернистого водорода в концентрации свыше 0,5 мг/дм³, он практически не ощущается при pH > 7. В слабокислой воде сернистый водород (H₂S), ион HS⁻ находятся в со-

отношении 1:1, при снижении рН преобладает сероводород (H_2S).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Прямое определение сероводорода и сульфидов в подземных водах может быть затруднено, но тем не менее ряд методов химического объемного анализа применим. Так, для определения содержания в работе использовали титриметрический метод, в основе которого лежит окислительно-восстановительная реакция, с преобразованием йода (РД 52.10.742-2010).

Забор объекта исследования в точках кон-

троля производили в соответствии с ГОСТ 31861-2012 «Общие требования к отбору проб».

Контрольные точки для отбора на реке Камышная отражены на топографическом плане (рисунок 1). Характеристика точек отбора проб: 1 – река Камышная ниже села Камышино (глубина водотока в районе забора не превышает 0,5 м, ширина 4–5 м), 2 – скважина на территории села Камышино вблизи реки Камышная, протекающей по территории населенного пункта (глубина скважины не зафиксирована, наблюдается в устье скважины белый и черный налет и четко выраженный запах сероводорода).

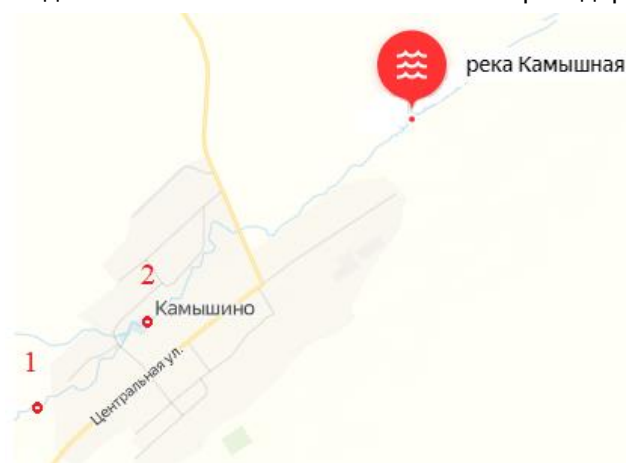


Рисунок 1 – Картирование точек забора проб для реки Камышная

Figure 1 – Mapping of sampling points for the Kamyshnaya River

Забор проб проводили в третьем квартале, при этом температурный показатель воды в исследуемых точках составил: точка 1–19 °С, точка 2–3 °С.

Река Тайда (г. Киселевск; 3,7 км от устья, выпуск № 1: 53° 58' 42,65" с.ш. 86° 38' 41,12" в.д.), река Ольжерас (Междуреченский гор. округ; 4 км от устья, выпуск № 1: 53°43'30" с.ш. 88°04'52" в.д.), река Бол. Тетенза (Мысковский городской округ; выпуск № 1: 53°44'00" с.ш. 87°46'49" в.д.).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для ориентировочной оценки соотношения форм сульфидов можно воспользоваться таблицами, в которых показана массовая доля сероводорода в общем содержании сероводорода и сульфидов при минерализации 1 г/дм³ в зависимости от водородного показателя и температуры. Материалы таких справочников могут быть применены и в случае иного значения минерализации.

Сравнивая состав подземной воды (из скважины) и поверхностной (из реки) по сухому остатку (таблица 2), стоит отметить, что

минерализация воды в точке 2 выше на 55 % по сравнению с образцом, отобранным в точке 1, при этом высокая концентрация минеральных примесей в образце, отобранном из скважины, ожидаема и соответствует гидрогеологическим характеристикам исследуемой территории (<http://atlaspacket.vsegei.ru/>), т.е. минерализация подземных вод в районе забора проб на основании гидрогеологических данных для Кузбасса должна быть в интервале 0,5–1,0 г/дм³.

Таблица результатов анализа отражает данные исследования по серо-содержанию проб воды, которые свидетельствуют о нормативном содержании, в том числе сероводорода в поверхностном водоеме, при этом серо-содержание в виде сульфидных форм в пробе подземной воды значительно выше, что сенсорно ощутимо, но при этом по значению концентрации сероводорода вода не относится к категории минеральных (0,01–0,05 г/л)

Для оценки вклада сероводорода в общее содержание сульфидных соединений использовали водородный показатель, измеренный на месте отбора проб (приведен в табл. 1).

Таблица 1 – Результаты анализа минерального состава воды из подземных источников

Table 1 – Results of the analysis of the mineral composition of water from underground sources

Точка забора	Сухой остаток, г/дм ³	Содержание сульфидных форм, мг/ дм ³	pH
1	0,32	0,31±0,05	6
2	0,54	4,38±0,05	8

Значительное присутствие сероводорода объясняется специфическими геохимическими условиями восстановительного характера.

Исследования реки Камышная на предмет содержания соединений серы показали, что серосодержащие соединения не превышают допустимый уровень (Приказ Минсельхоз РФ от 13 декабря 2016 года № 552), но в настоящее время по результатам мониторинга отмечается тенденция к повышению содержания соединений серы в поверхностных водных источниках, в частности тех, которые подвержены антропогенному воздействию.

Проведенный мониторинг водных объектов, приемников сточных вод, показал по серосодержащим веществам превышение нормативов: река Тайда – сульфат-ионы 3,69 ПДК, река Ольжерас – 1,87 ПДК, Бол. Тетенза, левобережный приток р. Томь – 2 ПДК, Кондома – 2,92 ПДК, превышение характерно как для малых рек, так и для основных водных объектов региона.

Сточные воды предприятий угольной отрасли, коммунально-бытовые, сельскохозяйственные и животноводческие комплексы сбрасывают сточные воды с недостаточной степенью очистки, тем самым создавая и высокую степень минерализации поверхностных водных объектов.

Механическая обработка – это одна из обязательных стадий очистки сточных вод. Отстаивание в резервуарах зачастую приводит к биогенной сульфатредукции минеральной серы, присутствующей как в сточных водах, так и попадающей в процессе миграции неорганических соединений из фильтрующих пород, что характерно для шламоотстойников предприятий угледобывающей отрасли.

Процесс сульфатредукции активно происходит на дне отстойников или водных объектов в анаэробных условиях, где концентрация кислорода естественно снижена и сопровождается активным образованием сероводорода.

Проблему высокого содержания сульфидов и сероводорода необходимо решать как в составе сточных вод, так и при превышении ПДК_{рыбхоз} в поверхностных водоемах. В составе сточных вод при низком содержании кислорода сероводород значительно снижает их качество. При наблюдении за состоянием накопительных резервуаров, формирующих карьерные сточные воды угледобывающих предприятий, было отмечено появле-

ние опалесценции сточной воды и стабильного серого оттенка, при этом контроль содержания сероводорода показал значение концентрации более 15 мг/дм³. Отмечается ухудшение процесса нитрификации (стадия биологической очистки), что обусловлено значительным снижением количества соединений азота. В иловой смеси при концентрации сероводорода выше 15 мг/дм³ снижается общая численность микроорганизмов. Это объясняется тем, что сероводород весьма токсичное вещество.

Компенсация биогенной сульфатдеструкции в резервуарах-отстойниках возможна с использованием различных методов подавления активности анаэробных микроорганизмов [3]: инжекция кислорода или воздуха (для предотвращения создания анаэробных условий и окисления сульфидов до сульфатов) [4]; контроль водородного показателя; введение реагентов (хлориды Fe(II) и Fe(III), а также сульфаты Fe(II); ионы Fe(II) образуют малорастворимый сульфид FeS; ионы Fe(III)) окисляют сероводород до элементарной серы, восстанавливаясь до Fe(II), что приводит к осаждению FeS) [5, 6].

Для снижения содержания сероводорода в слабосероводородной минеральной воде из обследуемой скважины при содержании H₂S до 5 мг/дм³ в лабораторных условиях применен физический метод (аэрации). Продувка атмосферного воздуха через пробу воды показала (при условиях: t = 27°C время активного контакта 10 мин) сокращение содержания сероводорода на 80 %, при этом отмечен не только процесс выветривания сероводорода, но и его окисление кислородом воздуха (отмечено повышение водородного показателя с pH = 8 до pH = 8,5).

Изменение условий среды до значений водородного показателя pH = 5 (при сохранении режима аэрирования) приводит к полному удалению сероводорода. В этих условиях высокая концентрация H⁺-ионов подавляет диссоциацию сероводорода, поэтому его большая часть будет находиться в молекулярной форме, которая легко удаляется аэрированием.

Применимость аэрирования в случае снижения концентрации сероводорода в поверхностных водах эффективна в описанных выше условиях. При реализации метода аэрации возникает опасность загрязнения приземного слоя воздуха.

А при условии, что в сточных водах до 80 % восстановленных соединений серы представлено нелетучими формами, эффективность аэрирования сводится к минимуму, и в сточной воде будут по-прежнему оставаться высокие концентрации серосодержащих соединений [6].

Исследования методов, направленных на снижение содержания сероводорода в сточных водах, показало следующие результаты.

Группа биологических методов основана на дублировании одного из этапов биологического круговорота серы в природе, что определяет значительный экологический эффект.

Реагентные методы предполагают использование реактивов с целью перевода сероводорода в менее активные соединения. В качестве реактивов используется экологически чистый озон, который окисляет примеси, обесцвечивает, дезодорирует, обезвреживает сточные воды и насыщает их кислородом; перекись водорода; реагенты, содержащие марганец [4].

Одним из перспективных и экологически целесообразных методов может быть сорбционный метод [7, 8]. Эффективность данного метода апробирована на модельных растворах с применением в качестве сорбентов гранулированных активных углей марок АГ-3, СКД-515. Наиболее эффективным из исследуемых марок отмечен уголь марки СКД-515.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование образцов воды на предмет содержания соединений серы показало присутствие сероводорода в подземных источниках на уровне, характерном гидрогеологическим характеристикам исследуемой территории. Содержание сероводорода в поверхностных источниках при сравнении водных объектов четко определило антропогенное формирование контаминации поверхностных водоемов серосодержащими загрязнителями.

Исследование метода аэрации показало его эффективность, при этом применение в промышленных масштабах может сопровождаться превышением допустимых концентраций сероводорода в воздухе. Извлечение сорбционным методом с использованием гранулированных активных углей для подземных вод с последующим использованием

в питьевых целях является оптимальным, для очистки сточных вод в качестве сорбентов наиболее приемлемо использовать пористообразные активные угли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефимов В.И. Ресурсы подземных вод Кузбасса // ГИАБ. 2006. № 7.
2. Герасименко М.Ю., Астахов П.В., Бадалов Н.Г., Персиянова-Дуброва А.Л., Львова Н.В., Крикорова С.А., Барашков Г.Н., Уянаева А.И., Мухина А.А., Тупицина Ю.Ю., Бабушкина Т.Н. Сероводородные ванны в лечебно-реабилитационных и профилактических программах. Клинические рекомендации // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. 2018. № 2.
3. Михайленко В.В., Капустин А.Е. Оценка эффективности очистки сточных вод методом анаэробного сбразивания // ТАРП. 2016. № 3 (29). DOI : 10.15587/2312-8372.2016.71495.
4. Завершинский А.Н., Вигдорович В.И. Окислительно-восстановительный потенциал среды, содержащей культуру СРБ, как показатель ее активности // Вестник российских университетов. Математика. 2000. № 1.
5. Глазунов Л.А. Гидрофобизация минералов при флотации сульфидных руд // ГИАБ. 1999. № 8.
6. Вильсон Е.В. Исследования в области удаления восстановленных соединений серы из сточных вод // Вестник евразийской науки. 2013. № 3 (16).
7. Gutierrez O., Park D., Shar K., Yuan Z. Effects of long-term pH elevation on the sulfate-reducing and methanogenic activities of anaerobic sewer biofilms // Water Research, 2009, 43 (9), 2549–2557 p.
8. Арискина Ю.Ю., Митяева Л.А., Домашенко Ю.Е., Васильев С.М. Обоснование эффективности фильтровально-сорбционной загрузки при очистке подземных вод // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2019. № 4(36). С. 31–42. DOI : 10.31774/2222-1816-2019-4-31-42.

Информация об авторах

А. К. Горелкина – д-р техн. наук, профессор кафедры техносферной безопасности, институт инженерных технологий, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет».

И. В. Тимощук – д-р техн. наук, профессор кафедры техносферной безопасности, институт инженерных технологий, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет».

Е. Н. Неверов – д-р техн. наук, заведующий кафедрой техносферной безопасности, институт инженерных технологий, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет».

Н. С. Голубева – канд. техн. наук, доцент кафедры техносферной безопасности, институт инженерных технологий, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет».

Л. А. Иванова – канд. техн. наук, доцент кафедры техносферной безопасности, институт инженерных технологий, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет».

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.


Статья поступила в редакцию 26 марта 2023; одобрена после рецензирования 18 сентября 2023; принята к публикации 20 ноября 2023.

The article was received by the editorial board on 26 Mar 2023; approved after editing on 18 Sep 2023; accepted for publication on 20 Nov 2023.



Научная статья
2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)
УДК66.074.2:697.94

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.032

 EDN: XMXIPM

ВЛИЯНИЕ УГЛА НАКЛОНА СЕПАРАЦИОННЫХ ПЛАСТИН МУЛЬТИВИХРЕВОГО СЕПАРАТОРА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

Вадим Эдуардович Зинуров¹, Виталий Викторович Харьков²,
Илюза Ильшатовна Насырова³, Андрей Владимирович Дмитриев⁴
Арслан Маратович Мугинов⁵

^{1, 3, 4, 5} Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

¹ vadd_93@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1380-4433>

³ iyuza2001@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1051-6257>

⁴ ieremiada@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8979-4457>

⁵ aqwewerr@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-2914-6923>

² Казанский национальный исследовательский технологический институт, Казань, Россия,
v.v.kharkov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8219-7323>

Аннотация. Во многих отраслях промышленности существует проблема эффективной очистки газа от взвешенных твердых частиц. В статье предлагается использование оригинального мультिवихревого сепаратора с соосно расположенными трубами и наклонными пластинами для очистки запыленного газа. Описывается конструкция устройства и механизм сепарации для газопылевой системы. Основными силами, влияющими на процесс сепарации частиц из газа в устройстве, являются гравитационные, инерционные и центробежные силы. В работе проведено исследование влияния угла наклона сепарационных пластин на эффективность улавливания частиц устройством и его гидравлическое сопротивление. В ходе численного исследования изменялись: угол наклона сепарационных пластин – от 20 до 60°, входная скорость запыленного потока – от 3 до 10 м/с, диаметр твердых частиц – от 1 до 15 мкм, плотность частиц – от 2500 до 4000 кг/м³. Результаты исследований показали, что сепарационные наклонные пластины способствуют повышению эффективности улавливания частиц в устройстве путем создания между соседними пластинами пространств с околонулевыми скоростями газа – буферных зон, в которые летят отсепарированные частицы из завихренного газопылевого потока в кольцевом пространстве, что предотвращает отскок частиц обратно в несущий поток. Найдено, что угол наклона сепарационных пластин практически не влияет на эффективность мультिवихревого сепаратора. Наиболее оптимальной скоростью газопылевого потока на входе в сепаратор является 7 м/с. Эффективность устройства для частиц размером 1–15 мкм и их плотностью 2500–4000 кг/м³ в среднем составляет 49,2%. Гидравлическое сопротивление составляет 589,5 Па. При входной скорости газопылевого потока от 3 до 10 м/с гидравлическое сопротивление мультिवихревого сепаратора увеличивается с 111,1 до 1245,3 Па.

Ключевые слова: мультिवихревой сепаратор, мелкодисперсные частицы, соосно расположенные трубы, сепарация, центробежные силы, улавливание частиц, очистка газа.

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке стипендии Президента РФ молодым ученым и аспирантам СП-3577.2022.1.

Для цитирования: Влияние угла наклона сепарационных пластин мультिवихревого сепаратора на эффективность и гидравлическое сопротивление / В. Э. Зинуров [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 4, С. 249–256. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.032. EDN: <https://elibrary.ru/XMXIPM>.

Original article

INFLUENCE OF INCLINE ANGLES FOR SEPARATION PLATES ON EFFICIENCY AND PRESSURE DROP OF MULTIVORTEX SEPARATOR

Vadim E. Zinurov¹, Vitaly V. Kharkov², Iluza I. Nasyrova³,
Andrey V. Dmitriev⁴, Arslan M. Muginov⁵

^{1, 3, 4, 5} Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

¹ vadd_93@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1380-4433>

³ iyuzza2001@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1051-6257>

⁴ ieremiada@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8979-4457>

⁵ aqwewerr@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-2914-6923>

² Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia, v.v.kharkov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8219-7323>

Abstract. Many industries have the problem of effective removing solid particles from gas. An original multivortex separator with coaxial pipes and inclined plates was developed to clean the dusty gas. The design of the device and the separation mechanism for the gas-dust system are described. The main forces affecting the separation of particles from gas in the device are gravitational, inertial, and centrifugal forces. In the work, the influence of the incline angle of the separation plates on the efficiency of catching particles by the device and its pressure drop is evaluated. During the numerical study, the angle of inclination of the separation plates changed from 20 to 60°, the inlet dusty gas velocity was from 3 to 10 m/s, the diameter of solid particles varied from 1 to 15 μm, the particle density was from 2500 to 4000 kg/m³. The results of the studies showed that the separation inclined plates contribute to the improved efficiency of removing particles in the device by forming spaces between adjacent plates with near-zero gas velocities (buffer zones) into which separated particles fly from the swirled dusty gas flow in the annular space, which prevents the particles from bouncing back into the carrier flow. The angle of inclination of the separation plates has been found to have a small effect on the efficiency of the multivortex separator. The most rational velocity of the dusty gas flow at the inlet to the separator is 7 m/s. The device efficiency for particles of size 1–15 μm and their density 2500–4000 kg/m³ averages 49.2%. The pressure drop of the separator is 589.5 Pa. At the inlet velocity of the gas-dust flow of 3 to 10 m/s, the pressure difference of the multivortex separator increases from 111.1 to 1245.3 Pa.

Keywords: multivortex separator, fine particles, coaxial pipes, separation, centrifugal forces, particle capture, gas cleaning.

Acknowledgements: the study was carried out with the financial support of the scholarship of the President of the Russian Federation to young scientists and postgraduate's SP-3577.2022.1.

For citation: Zinurov, V. E., Kharkov, V. V., Nasyrova, I. I., Dmitriev, A. V. & Muginov, A. M. (2023). Influence of incline angles for separation plates on efficiency and pressure drop of multivortex separator. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 249-256. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.032. EDN: <https://elibrary.ru/XMXIPM>.

ВВЕДЕНИЕ

На многих промышленных предприятиях требуется очистка отходящих газов или наличие чистого воздуха в рабочих помещениях, например, при изготовлении электронного оборудования, фармацевтических материалов, в покрасочных цехах и т. д., поэтому удаление взвешенных частиц даже очень маленьких размеров и в любых концентрациях имеет крайне важное значение. Таким обра-

зом, эффективное удаление частиц из загрязненных газовых потоков является актуальной проблемой [1–3].

Разделение гетерогенных дисперсных смесей осуществляется с помощью различных механических и физических сил, которые действуют на частицы, среду (газ, жидкость) или смеси самих частиц и среды. Однако процессы сепарации твердых частиц из газовых потоков существенно отличаются от разделения твердого вещества из жидкости, по-

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 4 2023

ВЛИЯНИЕ УГЛА НАКЛОНА СЕПАРАЦИОННЫХ ПЛАСТИН МУЛЬТИВИХРЕВОГО СЕПАРАТОРА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

скольку текучая среда гораздо менее вязкая, чем жидкость, и это влияет на силы, которые наиболее важны для анализа траектории частиц. Поэтому при исследовании газопылевых сепараторов крайне важны понимание механизма разделения и оценка влияния различных конструктивных и режимных параметров на эффективность процесса сепарации [4–6].

Есть много различных типов устройств для очистки газа от твердых взвешенных частиц, отличающихся конструкцией и принципом действия. Соответственно, на сегодняшний день накоплено достаточно много результатов теоретических и экспериментальных исследований различных сепараторов. В работе [7] обобщены результаты исследований эффективности работы пылезолоуловителей различной конструкции, эксплуатируемых в котельных предприятиях. Предлагается оригинальный метод нейросетевого моделирования для подбора рациональных устройств для очистки дымовых газа от твердых частиц. В монографии [8] рассматриваются новые сепарационные устройства для очистки вентиляционных выбросов от мелкодисперсных частиц различной природы на предприятиях строительной отрасли и методы их расчета.

Авторы [9] добились высокой степени эффективности аэровинтового циклона за счет формирования внутри аппарата закрученного винтового газопылевого течения с увеличивающимся центробежным эффектом, который обусловлен переменным сечением конструкции. Методы вычислительной гидродинамики широко используются для исследования процесса разделения [10]. Например, в [11] при моделировании потока в циклонном сепараторе найдены значения характеристики осаждения взвешенных мелкодисперсных частиц из многофазного потока.

Авторами статьи для очистки газопылевого потока был разработан мультिवихревой сепаратор с соосно расположенными трубами (рис. 1). Основными элементами устройства являются три трубы: внешняя цилиндрическая труба 1, внутренняя труба входа газопылевого потока 2 и осевая труба 7, а также сепарационные наклонные пластины 8. Улавливание частиц в устройстве происходит за счет гравитационных, инерционных и центробежных сил. Газопылевой поток входит в устройство через круглое отверстие внутренней трубы 2 в его верхней части. После чего поток движется по ней и распределяется по прямоугольным прорезям 5. При выходе газа с твердыми частицами из каждой прорези 5 в

кольцевое пространство, расположенное между осевой трубой 7 с сепарационными наклонными пластинами 8 и внутренней трубой 2, наблюдается следующая картина. Струя газопылевого потока движется во все стороны, при этом основной ее объем разделяется на две части, которые движутся в правую и левую стороны, образуя тем самым две струи меньших размеров. За счет конструктивного расположения прямоугольных прорезей 5, расположенных относительно друг друга с определенным шагом, и определенной ширины кольцевого пространства, рассчитанной по методике [12], маленькие струи образуют завихрения, которые движутся в верхнюю часть мультिवихревого сепаратора. Количество вихрей в кольцевом пространстве вдвое больше прямоугольных прорезей. Вследствие того, что радиус вихрей небольшой, то создается поле с высокими значениями центробежных сил, под действием которого мелкодисперсные частицы отлетают в пространство между сепарационными наклонными пластинами и опускаются вниз.

В днище 11 мультिवихревого сепаратора проделаны круглые отверстия 12, через которые твердые частицы осаждаются в приемный бункер 6. При наличии в газопылевом потоке средних и крупных частиц с большей степенью вероятности они выбиваются из него за счет сил гравитации или резкого изменения направления движения и, как правило, падают на дно устройства как в нижней части внутренней трубы, так и в нижней части кольцевого пространства. Для исключения забивания данных областей круглые отверстия 12 для ссыпания частиц в приемный бункер 6 равномерно проделаны по всему днищу 11. Недостатком большого количества отверстий может являться формирование паразитных восходящих потоков. С целью исключения таких потоков отверстия имеют маленький диаметр.

Постепенно завихрения газового потока в кольцевом пространстве движутся в верхнюю часть устройства и достигают экран 3 с проделанными в нем круглыми отверстиями 4. Ось каждого вихря совпадает с осью каждого отверстия 4. Экран служит дополнительным сепарационным элементом. Очищенный газ выходит из мультिवихревого сепаратора через выхлопной патрубок 12.

Стоит отметить необходимость применения сепарационных наклонных пластин в мультिवихревом сепараторе. В ранее проведенных исследованиях, объектом которых выступал сепаратор без пластин [13, 14], было установлено, что некоторая часть частиц

после сепарации из газопылевого потока в кольцевом пространстве возвращается обратно в несущий завихренный поток после отскока от внутренних стенок внешней цилиндрической трубы.

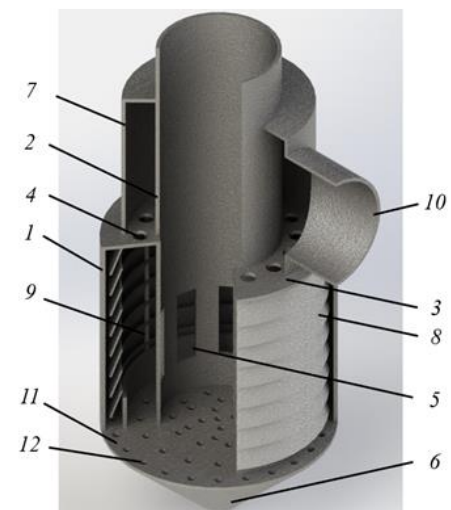


Рисунок 1 – 3D модель мультивихревого сепаратора с соосно расположенными трубами: 1 – внешняя цилиндрическая труба; 2 – внутренняя труба входа газопылевого потока; 3 – экран; 4 – отверстия круглой формы; 5 – прямоугольные прорезы; 6 – приемный бункер; 7 – осевая труба; 8 – сепарационные наклонные пластины; 9 – шпильки; 10 – выхлопной патрубок; 11 – днище; 12 – круглые отверстия (вид с разрезом)

Figure 1 – The 3D model of the multivortex separator with coaxial pipes: 1 – external cylindrical pipe; 2 – internal pipe of the dusty flow inlet; 3 – screen; 4 – round-shaped holes; 5 – rectangular slots; 6 – receiving hopper; 7 – axial pipe; 8 – separation inclined plates; 9 – studs; 10 – exhaust pipe; 11 – bottom; 12 – round holes (split view)

Целью работы является исследование влияния угла наклона сепарационных пластин на эффективность улавливания частиц и гидравлическое сопротивление мультивихревого сепаратора.

МЕТОДЫ

Исследование проводилось с помощью численного моделирования в программном комплексе Ansys Fluent. В данном пакете используется метод конечных элементов, который представляет собой сеточный метод. При настройке проекта была выбрана модель турбулентности $k-\omega$ SST. В зависимости от выбранной модели турбулентности задаются дифференциальные уравнения в частных производных (уравнение Навье–Стокса), которые дополняются уравнением сплошности среды [15].

Предварительно была построена трехмерная модель мультивихревого сепаратора, которая имела следующие размеры: внутренняя труба диаметром 57 мм и высотой 20 мм, внешняя цилиндрическая труба диаметром 120 мм и высотой 220 мм, осевая труба диаметром 57 мм и высотой 190 мм, диаметр радиальных отверстий 8 мм, расстояние от днища до прямоугольных прорезей 18 мм, высота и ширина прорезей – 40 и 11 мм соответственно. Угол наклона сепарационных пластин варьировался от 20 до 60 °.

На входе в мультивихревой сепаратор задавалась скорость газопылевого потока W в диапазоне от 3 до 10 м/с. На выходе из сепаратора задавалось атмосферное давление. На внутренних стенках устройства задавалось условие отпрыгивания частиц. Размер мелкодисперсных частиц в газовом потоке составлял от 1 до 15 мкм. Плотность частиц ρ_a составляла от 2500 до 4000 кг/м³.

Эффективность мультивихревого сепаратора с соосно расположенными трубами E определялась по выражению (1):

$$E = 1 - \frac{n_k}{n}, \quad (1)$$

где n_k – количество частиц в газопылевом потоке, которые остались в нем после его очистки в мультивихревом сепараторе; n – количество частиц в газе на входе в мультивихревой сепаратор [5].

Гидравлическое сопротивление мультивихревого сепаратора с соосно расположенными трубами определялось по выражению (2):

$$\Delta p = p_{\text{inlet}} - p_{\text{outlet}}, \quad (2)$$

где p_{inlet} – давление на входе во внутреннюю трубу мультивихревого сепаратора, Па; p_{outlet} – давление на выходе из выхлопного патрубка мультивихревого сепаратора, Па.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований показали, что сепарационные наклонные пластины в мультивихревом сепараторе способствуют повышению эффективности улавливания мелкодисперсных частиц. При их выбивании из завихренного газопылевого потока в кольцевом пространстве в область между внутренней стенкой цилиндрической трубы и сепарационными наклонными пластинами в большинстве случаев они постепенно падают в приемный бункер. Эффективность мультивихревого сепаратора при улавливании мелкодисперсных частиц размером менее 15 мкм и при входной скорости газопылевого потока от 3 до 10 м/с в среднем составляет 43,6 %.

ВЛИЯНИЕ УГЛА НАКЛОНА СЕПАРАЦИОННЫХ ПЛАСТИН МУЛЬТИВИХРЕВОГО СЕПАРАТОРА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

На эффективность улавливания частиц в устройстве оказывали влияние все рассматриваемые параметры. При этом различный угол наклона сепарационных пластин практически не приводил к изменению эффективности устройства. Так, при угле наклона пластин, равным 20, 30, 45 и 60°, эффективность мультिवихревого сепаратора в среднем при входной скорости газопылевого потока 3–10 м/с составляла 42,1, 42,1, 40,2 и 44,1 % соответственно. Это свидетельствует о том, что ключевая задача сепарационных наклонных пластин заключается в создании между ними пространств, в которых скорость движения газа существенно ниже скорости основного потока, для сохранения отсепарированных частиц из газопылевого потока в кольцевом пространстве от отскока обратно в несущий поток. При этом наклон сепарационных пластин позволяет задавать направление движения частиц в область между ними и внутренней стенкой цилиндрической трубы.

В большей мере на эффективность мультिवихревого сепаратора оказывали влияние входная скорость потока, диаметр и плотность частиц, так как от этих параметров непосредственно зависит вероятность сепарации мелкодисперсных частиц из завихренного газопылевого потока в кольцевом пространстве. Очевидно, что с увеличением числовых значений данных параметров эффективность устройства, как правило, повышалась (рис. 2–5). При этом рост входной скорости газопылевого потока приводил к значимому увеличению эффективности устройства. Так, при входной скорости газопылевого потока, равной 3, 7 и 10 м/с, эффективность мультिवихревого сепаратора в среднем составляла 20,1, 49,3 и 56,8 % соответственно. Это подтверждает, что основными силами, влияющими на процесс сепарации частиц из газа в кольцевом пространстве устройства, являются инерционные и центробежные. Также было получено, что гидравлическое сопротивление устройства практически остается постоянным при различном угле наклона сепарационных пластин. Это свидетельствует о неизменяющейся структуре потока между пластинами и за ними. При входной скорости от 3 до 10 м/с гидравлическое сопротивление составляет до 1245 Па (рис. 6).

При входной скорости W газопылевого потока 3 м/с и плотности частиц ρ_a , равной 2500 кг/м³, эффективность мультिवихревого сепаратора с соосно расположенными E трубами при угле сепарационных пластин, равным 20, 30, 45 и 60°, составляет в среднем 14,6, 14,8, 15,1 и 15,1 % соответствен-

но (рис. 2). Найдено, что улавливать частицы размером менее 9 мкм при входной скорости 3 м/с нецелесообразно, так как эффективность околонулевая. Однако при условии, что в потоке газа частицы размером от 9 мкм и более, применение данного устройства в технологической линии приобретает смысл, так как при низкой скорости гидравлическое сопротивление устройства составляет не более 113 Па, т. е. можно использовать несколько последовательно соединенных устройств (рис. 6). Эффективность мультिवихревого сепаратора при размере частиц в газопылевым потоке от 9 до 15 мкм в среднем составляет 31,1, 31,5, 31,7 и 31,9 % при наклоне пластин в 20, 30, 45 и 60° соответственно.

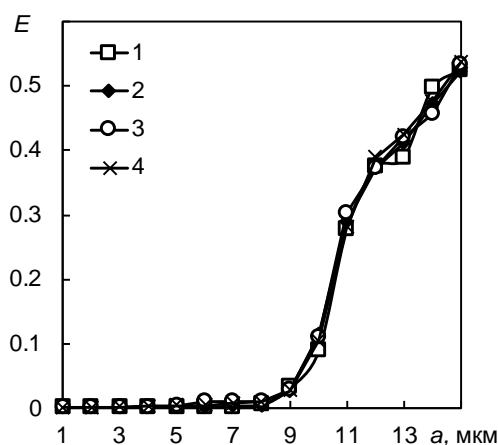


Рисунок 2 – Зависимость эффективности мультिवихревого сепаратора с соосно расположенными трубами от размера частиц при различном угле наклона сепарационных пластин: 1 – 20°; 2 – 30°; 3 – 45°; 4 – 60°. Скорость газа на входе в устройство $W = 3$ м/с. Плотность частиц $\rho_a = 2500$ кг/м³

Figure 2 – The dependence of the efficiency of the multivortex separator with coaxial pipes on the particle size at different incline angles of the separation plates: 1 – 20°; 2 – 30°; 3 – 45°; 4 – 60°. The gas velocity at the entrance into the device $W = 3$ m/s. Particle density $\rho_a = 2500$ kg/m³

Увеличение входной скорости газопылевого потока от 3 до 7 м/с приводит в среднем к увеличению эффективности устройства на 29,8 %. При угле наклона сепарационных пластин 20, 30, 45 и 60° и входной скорости газа W , равной 7 м/с и плотности частиц ρ_a , равной 2500 кг/м³, эффективность устройства составляет в среднем 42,3, 42,8, 48,1 и 45,7 % соответственно. Околонулевая эффективность мультिवихревого сепаратора при входной скорости 7 м/с составляет для частиц размером от 1 до 3 мкм. Очевидно, что область применения сепаратора при данной скорости начинается при размере частиц от

4 мкм. Тогда эффективность устройства в среднем составляет 52,8, 53,4, 52,4 и 57,1 % при угле наклона пластин в 20, 30, 45 и 60 ° соответственно (рис. 3).

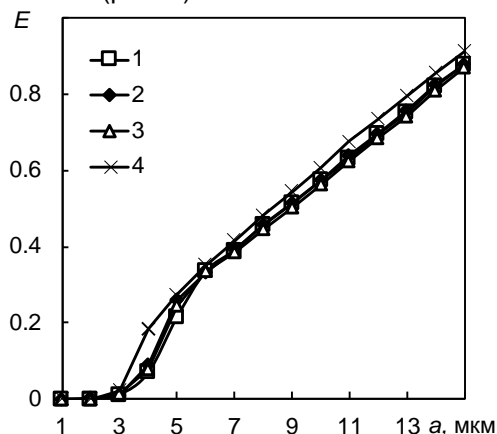


Рисунок 3 – Зависимость эффективности мультивихревого сепаратора с соосно расположенными трубами от размера частиц при различном угле наклона сепарационных пластин: 1 – 20 °; 2 – 30 °; 3 – 45 °; 4 – 60 °. Скорость газа W на входе в устройство 7 м/с. Плотность частиц $\rho_a = 2500$ кг/м³

Figure 3 – The dependence of the efficiency of the multivortex separator with coaxial pipes on the particle size at different incline angles of the separation plates: 1 – 20°; 2 – 30°; 3 – 45°; 4 – 60°. The gas velocity at the entrance into the device W is 7 m/s. Particle density $\rho_a = 2500$ kg/m³

Увеличение входной скорости газопылевого потока от 7 до 10 м/с приводит в среднем к увеличению эффективности устройства на 8,1 %. При угле наклона сепарационных пластин, равном 20, 30, 45 и 60 °, эффективность составляет в среднем 54,1, 51,2, 50,9 и 55,1 % соответственно. При этом околонулевая эффективность сепаратора составляет для частиц размером 1 и 2 мкм (рис. 4).

Учитывая, что эффективность устройства при различном угле наклона пластин практически не изменяется. На рис. 5 представлены сводные данные по эффективности улавливания мелкодисперсных частиц при различной их плотности от 2500 до 4000 кг/м³, входной скорости газа от 3 до 10 м/с и угле наклона сепарационных пластин, равном 60 °. Видно, что наиболее значимый рост эффективности улавливания части происходит от 3 до 7 м/с (рис. 5). При этом гидравлическое сопротивление мультивихревого сепаратора при скорости 3, 7 и 10 м/с и угле наклона пластин 60 ° составляет 111,8, 607,4 и 1228,9 Па соответственно (рис. 6).

Таким образом, рентабельнее использование мультивихревого сепаратора наблюдается при входной скорости потока, равной 7 м/с. Увеличить эффективность возможно

путем использования нескольких последовательно соединенных аналогичных устройств. Эффективность устройства для частиц размером 1–15 мкм и их плотностью 2500–4000 кг/м³ в среднем составляет 49,2 %. Гидравлическое сопротивление составляет 589,5 Па (рис. 6). При входной скорости W газопылевого потока 3, 7 и 10 м/с и плотности частиц ρ_a , равной 4000 кг/м³, эффективность мультивихревого сепаратора с соосно расположенными E трубами при угле сепарационных пластин, равном 60 °, составляет в среднем 26,5, 57,6 и 64,4 % соответственно (рис. 5).

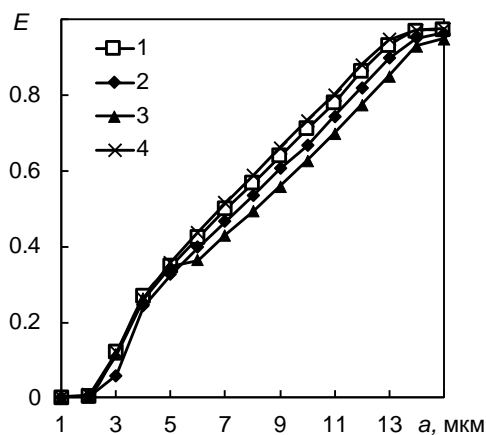


Рисунок 4 – Зависимость эффективности мультивихревого сепаратора с соосно расположенными трубами от размера частиц при различном угле наклона сепарационных пластин: 1 – 20 °; 2 – 30 °; 3 – 45 °; 4 – 60 °. Скорость газа W на входе в устройство 10 м/с. Плотность частиц $\rho_a = 2500$ кг/м³

Figure 4 – The dependence of the efficiency of the multivortex separator with coaxial pipes on the particle size at different incline angles of the separation plates: 1 – 20°; 2 – 30°; 3 – 45°; 4 – 60°. The gas velocity at the entrance into the device W is 10 m/s. Particle density $\rho_a = 2500$ kg/m³

Гидравлическое сопротивление мультивихревого сепаратора с соосно расположенными трубами при входной скорости газопылевого потока от 3 до 10 м/с составляет от 111,7 до 1245,3, 112,3 до 1215,1, 111,1 до 1215,8 и 111,9 до 1228,3 Па при угле наклона сепарационных пластин 20, 30, 45 и 60° (рис. 6).

Таким образом, использование мультивихревого сепаратора с соосно расположенными трубами является целесообразным перед фильтрами тонкой очистки, что позволит увеличить их эксплуатационный срок службы. В зависимости от дисперсности частиц скорость газопылевого потока на входе в сепаратор можно снизить путем увеличения проходного сечения входной трубы, что позволит снизить общие энергетические затраты предприятия.

ВЛИЯНИЕ УГЛА НАКЛОНА СЕПАРАЦИОННЫХ ПЛАСТИН МУЛЬТИВИХРЕВОГО СЕПАРАТОРА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

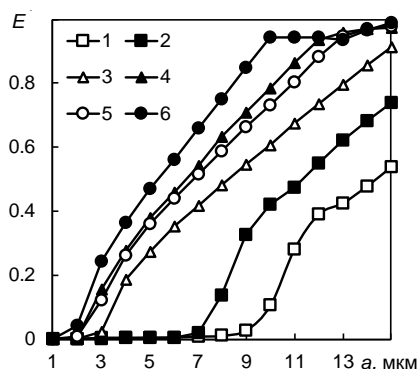


Рисунок 5 – Зависимость эффективности мультивихревого сепаратора с соосно расположенными трубами от размера частиц: 1 – $W = 3$ м/с, $\rho_a = 2500$ кг/м³; 2 – $W = 3$ м/с, $\rho_a = 4000$ кг/м³; 3 – $W = 7$ м/с, $\rho_a = 2500$ кг/м³; 4 – $W = 7$ м/с, $\rho_a = 4000$ кг/м³; 5 – $W = 10$ м/с, $\rho_a = 2500$ кг/м³; 6 – $W = 10$ м/с, $\rho_a = 4000$ кг/м³.

Угол наклона сепарационных пластин 60°

Figure 5 – The dependence of the efficiency of the multivortex separator with coaxial pipes on the particle size: 1 – $W = 3$ м/с, $\rho_a = 2500$ кг/м³; 2 – $W = 3$ м/с, $\rho_a = 2500$ кг/м³; 3 – $W = 7$ м/с, $\rho_a = 2500$ кг/м³; 4 – $W = 7$ м/с, $\rho_a = 4000$ кг/м³; 5 – $W = 10$ м/с, $\rho_a = 2500$ кг/м³; 6 – $W = 10$ м/с, $\rho_a = 4000$ кг/м³. The incline angle of the separation plates is 60°

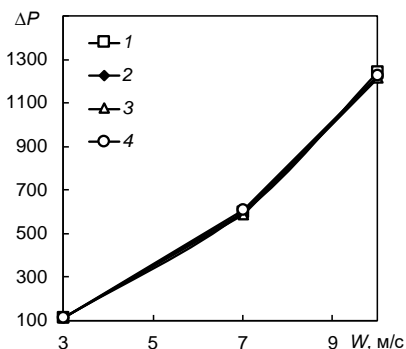


Рисунок 6 – Зависимость гидравлического сопротивления мультивихревого сепаратора с соосно расположенными трубами от входной скорости газопылевого потока при различном угле наклона сепарационных пластин: 1 – 20° ; 2 – 30° ; 3 – 45° ; 4 – 60°

Figure 6 – The dependence of the pressure drop of the multivortex separator with coaxial pipes on the inlet velocity of the gas-dust flow at different incline angles of the separation plates: 1 – 20° ; 2 – 30° ; 3 – 45° ; 4 – 60°

ВЫВОДЫ

1. Сепарационные наклонные пластины способствуют повышению эффективности улавливания частиц в устройстве путем создания между соседними пластинами пространств с околонулевыми скоростями газа – буферных зон, в которые летят отсепарированные частицы из завихренного газопылевого потока в кольцевом пространстве, что предотвращает отскок частиц обратно в несущий поток.

2. Угол наклона сепарационных пластин практически не влияет на эффективность их улавливания в устройстве.

3. Наиболее оптимальной скоростью газопылевого потока на входе в мультивихревой сепаратор является 7 м/с. Эффективность устройства для частиц размером 1–15 мкм и их плотностью 2500–4000 кг/м³ в среднем составляет 49,2 %. Гидравлическое сопротивление составляет 589,5 Па.

4. При входной скорости газопылевого потока от 3 до 10 м/с гидравлическое сопротивление мультивихревого сепаратора изменяется от 111,1 до 1245,3 Па.

В качестве рекомендаций необходимо отметить, что разработанная конструкция мультивихревого сепаратора может быть использована также в качестве классификатора, так как устройство позволяет разделять частицы определенной дисперсности. В перспективе будут проведены исследования по повышению эффективности улавливания частиц в устройстве и уменьшению его гидравлического сопротивления. Для этого будет рассмотрено увеличение сепарационной зоны (высота кольцевого пространства) и скругление прямоугольных прорезей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Diao Y., Yang H. Gas-cleaning technology // Industrial Ventilation Design Guidebook. Elsevier, 2021. P. 279–371. doi : 10.1016/B978-0-12-816673-4.00007-9.
- Очистка промышленных газовых выбросов от пыли в полых вихревых аппаратах / Л.П. Сабирзянова [и др.] // Вестник Технологического университета. 2017. Т. 20. № 8. С. 50–52.
- Влияние конструктивного оформления элементов прямоугольного сепаратора на эффективность очистки газа от твердых частиц / А.В. Дмитриев [и др.] // Вестник технологического университета. 2018. Т. 21. № 9. С. 58–61.
- Numerical Study of Vortex Flow in a Classifier with Coaxial Tubes / V. Zinurov [et al.] // Int. J. Eng. Technol. Innov. 2022. Vol. 12. № 4. P. 336–346. doi : 10.46604/ijeti.2022.9568.
- Николаев А.Н., Харьков В.В. Интегральные характеристики закрученных течений в газоочистном оборудовании вихревого типа // Вестник Технологического университета. 2015. Т. 18. № 18. С. 130–132.
- Тукмаков А.Л., Харьков В.В., Ахунов А.А. Пневматическая сепарация фракций полидисперсной газ-взвеси в низкоскоростном потоке // Инженерно-физический журнал. 2022. Т. 95. № 4. С. 918–924.
- Катин В.Д., Ахтямов М.Х., Долгов Р.В. Расчёт и подбор рациональных конструкций пылезолоулавливающих устройств. Хабаровск : Дальневосточный государственный университет путей сообщения, 2020. 150 с.
- Тюрин Н.П. Высокоэффективные устройства очистки вентиляционных выбросов от мелкодисперсных частиц : монография. Самара : Самарский государственный архитектурно-строительный университет ЭБС АСВ, 2015. 124 с.
- Злочевский В.Л., Мухопад К.А. Аэродинамическое сопротивление винтового канала в циклонсепараторе // Техника и технология пищевых производств. 2017. № 3(46). С. 102–107.
- Zinurov V.E., Kharkov V.V., Madyshev I.N. Numerical simulation of pressure loss in a classifier with coaxial pipes // Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal). 2022. № 10–1. P. 173–181. doi : 10.25018/0236_1493_2022_101_0_173.
- Замалиева А.Т., Зиганшин М.Г. Повышение надежности, энергетической и экологической эффективности систем газоочистки на ТЭС // Надежность и безопасность энергетики. 2018. Т. 11. № 4. С. 288–293.

12. Разработка классификатора с соосно расположенными трубами для разделения сыпучего материала на основе силикагеля / В.Э. Зинуров [и др.] // Ползуновский вестник. 2021. № 2. С. 205–211.

13. Численное моделирование газодинамики в центробежном классификаторе / В.Э. Зинуров [и др.] // Вестник технологического университета. 2021. Т. 24. № 12. С. 128–132.

14. Оценка энергетических затрат при улавливании мелкодисперсных частиц в сепараторе с соосно расположенными трубами / В.Э. Зинуров [и др.] // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 2. С. 196–206.

15. Салахова Э.И., Дмитриев А.В., Зинуров В.Э. Исследование структуры газового потока в сепарационном устройстве с дугообразными элементами // Вестник Технологического университета. 2022. Т. 25. № 5. С. 60–64.

Информация об авторах

В. Э. Зинуров – ассистент кафедры «Теоретические основы теплотехники» Казанского государственного энергетического университета.

В. В. Харьков – кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование пищевых производств» Казанского национального исследовательского технологического университета.

И. И. Насырова – студент кафедры «Теоретические основы теплотехники» Казанского государственного энергетического университета.

А. В. Дмитриев – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Теоретические основы теплотехники» Казанского государственного энергетического университета.

А. М. Мугинов – студент кафедры «Энергообеспечение предприятий, строительство зданий и сооружений» Казанского государственного энергетического университета.

REFERENCES

1. Diao, Y. & Yang, H. (2021). Gas-cleaning technology // *Industrial Ventilation Design Guidebook*. Elsevier, 279-371. doi : 10.1016/B978-0-12-816673-4.00007-9.
2. Sabirzyanova, L.R., Uriev, A.A., Kharkov, V.V. & Nikolaev, A.N. (2017). Purification of industrial gas emissions from dust in hollow vortex apparatuses. *Bulletin of the Technological University*, 20, (8), 50-52. (In Russ.).
3. Dmitriev, A.V., Zinurov, V.E., Dmitrieva, O.S. & Galiev, A.A. (2018). Influence of structural design of elements of a rectangular separator on the efficiency of gas purification from solid particles. *Bulletin of the Technological University*, 21, (9), 58-61. (In Russ.).
4. Zinurov, V., Kharkov, V., Pankratov, E. & Dmitriev, A. (2022). Numerical Study of Vortex Flow in a Classifier with Coaxial Tubes. *Int. J. Eng. Technol. Innov.*, 12, (4), 336-346. doi : 10.46604/ijeti.2022.9568.
5. Nikolaev, A.N. & Kharkov, V.V. (2015). Integral characteristics of swirling flows in vortex-type gas-cleaning equipment. *Bulletin of the Technological University*, 18, (18), 130-132. (In Russ.).
6. Tukmakov, A.L., Kharkov, V.V. & Akhunov, A.A. (2022). Pneumatic separation of fractions of a polydis-

perse gas suspension in a low-velocity flow. *Inzhenerno-fizicheskij zhurnal*, 95, (4), 918-924. (In Russ.).

7. Katin, V.D., Akhtyamov, M.Kh. & Dolgov, R.V. (2020). *Calculation and selection of rational designs of dust-catching devices*. Khabarovsk : Far Eastern State University of Communications. (In Russ.).

8. Tyurin, N.P. (2015). *Highly efficient devices for cleaning ventilation emissions from fine particles: Monograph*. Samara : Samara State University of Architecture and Civil Engineering EBS DIA. (In Russ.).

9. Zlochevsky, V.L. & Mukhopad, K.A. (2017). Aerodynamic resistance of the helical channel in the cyclone-separator. *Technique and technology of food production*, 3(46), 102-107. (In Russ.).

10. Zinurov, V.E., Kharkov, V.V. & Madyshev, I.N. (2022). Numerical simulation of pressure loss in a classifier with coaxial pipes. *Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*, (10-1), 173-181. doi : 10.25018/0236_1493_2022_101_0_173.

11. Zamalieva, A.T. & Ziganshin, M.G. (2018). Improving the reliability, energy and environmental efficiency of gas cleaning systems at thermal power plants. *Reliability and safety of energy*, 11, (4), 288-293. (In Russ.).

12. Zinurov, V.E., Madyshev, I.N., Ivakhnenko, A.R. & Petrova, I.V. (2021). Development of a classifier with coaxial pipes for separating bulk material based on silica gel. *Polzunovskiy Bulletin*, (2), 205-211. (In Russ.).

13. Zinurov, V.E., Dmitriev, A.V., Sakhigbareev, N.F., Latypov, D.N. & Garipov, M.G. (2021). Numerical modeling of gas dynamics in a centrifugal classifier. *Bulletin of the Technological University*, 24, (12), 128-132. (In Russ.).

14. Zinurov, V.E., Dmitriev A.V., Badretdinova, G.R., Bikkulov, R.Ya. & Madyshev, I.N. (2021). Evaluation of energy costs when capturing fine particles in a separator with coaxial pipes. *Bulletin of the Irkutsk State Technical University*, 25, (2), 196-206. (In Russ.).

15. Salakhova, E.I., Dmitriev, A.V. & Zinurov, V.E. (2022). Investigation of the gas flow structure in a separation device with arcuate elements. *Bulletin of the Technological University*, 25, (5), 60-64. (In Russ.).

Information about the authors

V. E. Zinurov - Assistant of the Department "Theoretical foundations of heat engineering", Kazan State Power Engineering University.

V. V. Kharkov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Food Production Equipment", Kazan National Research Technological University.

I. I. Nasyrova - student of the Department "Theoretical foundations of heat engineering", Kazan State Power Engineering University.

A. V. Dmitriev - Doctor of Technical Sciences, Head of the Department "Theoretical Foundations of Thermotechnics" of the Kazan State Power Engineering University.

A. M. Muginov - Student of the Department "Energy supply of enterprises, construction of buildings and structures", Kazan State Power Engineering University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.


Статья поступила в редакцию 26 марта 2023; одобрена после рецензирования 18 сентября 2023; принята к публикации 20 ноября 2023.

The article was received by the editorial board on 26 Mar 2023; approved after editing on 18 Sep 2023; accepted for publication on 20 Nov 2023.



Научная статья
2.6.17 – Материаловедение (технические науки)
УДК621.74:669.018.9

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.033

 EDN: OXDFNJ

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЛИТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЭКЗОГЕННОЙ ФАЗЫ

Евгений Сергеевич Прусов¹, Иван Владимирович Шабалдин²,
Владислав Борисович Деев³

^{1,2,3} Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, г. Владимир, Россия

³ Уханьский текстильный университет, г. Ухань, Китай

³ Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва, Россия

¹ eprusov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4189-877X>

² shabaldinivan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1958-6852>

³ deev.vb@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8349-8072>

Аннотация. Актуальной задачей в области разработки и совершенствования металлургических технологий получения алюмоматричных композиционных материалов является поиск технических и технологических решений, позволяющих повысить степень усвоения армирующих частиц матричным алюминиевым расплавом для увеличения их предельных концентраций при одновременном обеспечении стабильного качества получаемых материалов. В статье изложены основные результаты отработки технологических приёмов механического замешивания порошкообразных частиц карбида кремния (63–75 мкм) в алюминиевый расплав при номинальном содержании армирующей фазы 25 об.%. Показано, что синтезированные материалы характеризуются равномерным распределением армирующих частиц и отличаются повышенными показателями прочности на сжатие и износостойкости в условиях сухого трения.

Ключевые слова: литые композиционные материалы, экзогенное армирование, карбид кремния, механическое замешивание, структура и свойства.

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания в сфере научной деятельности Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема FZUN-2020-0015, госзадание ВлГУ). Исследования проводились с использованием оборудования межрегионального многопрофильного и междисциплинарного центра коллективного пользования перспективных и конкурентоспособных технологий по направлениям развития и применения в промышленности / машиностроении отечественных достижений в области нанотехнологий (соглашение № 075-15-2021-692 от 5 августа 2021 года).

Для цитирования: Прусов Е. С., Шабалдин И. В., Деев В. Б. Формирование структуры и свойств литых композиционных материалов с повышенным содержанием экзогенной фазы / Ползуновский вестник. 2023. № 4, С. 257–263. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.033. EDN: <https://elibrary.ru/OXDFNJ>.

Original article

FORMATION OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF CAST COMPOSITE MATERIALS WITH INCREASED EXOGENOUS PHASE CONTENT

Evgeny S. Prusov¹, Ivan V. Shabaldin², Vladislav B. Deev³

^{1,2,3} Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia

© Прусов Е. С., Шабалдин И. В., Деев В. Б., 2023

³ Wuhan Textile University, Wuhan, China

³ National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russia

¹ eprusov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4189-877X>

² shabaldinivan@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1958-6852>

³ deev.vb@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8349-8072>

Abstract. *An urgent task in the field of development and improvement of metallurgical technologies for producing aluminum matrix composite materials is the search for technical and technological solutions that make it possible to increase the degree of assimilation of reinforcing particles by the matrix aluminum melt to increase their maximum concentrations while simultaneously ensuring stable quality of the resulting materials. The article presents the main results of developing technological methods for mechanical mixing of powdered particles of silicon carbide (63-75 microns) into an aluminum melt with a nominal content of the reinforcing phase of 25 vol.%. It has been shown that the synthesized materials are characterized by a uniform distribution of reinforcing particles and are distinguished by increased compressive strength and wear resistance under dry friction conditions.*

Keywords: *cast composite materials, exogenous reinforcement, silicon carbide, mechanical stirring, structure and properties.*

Acknowledgements: *The research was carried out within the state assignment in the field of scientific activity of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme FZUN-2020-0015, state assignment of VISU). The study was carried out using the equipment of the interregional multispecialty and interdisciplinary center for the collective usage of promising and competitive technologies in the areas of development and application in industry/mechanical engineering of domestic achievements in the field of nanotechnology (Agreement No. 075-15-2021-692 of August 5, 2021).*

For citation: Prusov, E. S., Shabaldin, I. V. & Deev, V. B. (2023). Formation of the structure and properties of cast composite materials with increased exogenous phase content. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 257-263. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.033. EDN: <https://elibrary.ru/OXDFNJ>.

ВВЕДЕНИЕ

Литые композиционные материалы на основе алюминиевых сплавов перспективны для использования в качестве альтернативы многим традиционным сплавам при изготовлении отливок ответственного назначения различной номенклатуры [1–3]. Это обусловлено, в частности, возможностью значительного повышения прочности на сжатие, твердости, износо- и задиристости, демпфирующей способности и других механических и эксплуатационных свойств материалов при армировании частицами высокомодульных тугоплавких соединений [4–6]. Варьирование объемного содержания, дисперсности, морфологии, пространственного распределения армирующих компонентов в матричном материале, а также химического состава матрицы по содержанию легирующих элементов открывает широкие потенциальные возможности для управления структурой литых композиционных материалов и достижения заданного уровня их свойств и функциональных характеристик.

Наиболее широко применяемым металлургическим методом получения алюмоматричных композиционных материалов с экзогенными армирующими фазами в настоящее время

остается механическое замешивание порошкообразных частиц в матричный расплав с помощью вращающегося импеллера [7, 8]. Этот метод, отличаясь универсальностью и сравнительной простотой технической реализации, достаточно легко адаптируется к промышленным условиям. Вместе с тем, в целях обеспечения требуемой степени усвоения частиц алюминиевым расплавом и минимизации дефектов литой структуры необходимо для различных комбинаций «матрица – армирующая фаза» экспериментально подбирать рациональные конструктивные и технологические параметры механического замешивания [9–12]. В особенности это касается процессов получения алюмоматричных композиционных материалов с высоким содержанием экзогенной армирующей фазы в условиях гравитационного литья.

Несмотря на то, что современные технологические подходы к получению литых композиционных материалов в условиях металлургических процессов позволяют устранить или существенно снизить многие проблемы, связанные с равномерностью распределения армирующих материалов, агломерацией, смачиваемостью экзогенных частиц и образованием нежелательных фаз

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЛИТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЭКЗОГЕННОЙ ФАЗЫ

[13], вопросы повышения предельных концентраций армирующих компонентов проработаны в недостаточной степени. Следует подчеркнуть, что для обеспечения усвоения керамических частиц расплавом важное значение имеет их подача с заданной равномерной скоростью, поэтому получение литых металломатричных композитов с высокой объемной долей армирующей фазы в процессах механического замешивания неизбежно связано с необходимостью значительного увеличения продолжительности замешивания. При этом в некоторый момент времени отмечается, что продолжение подачи порошка в зону механического перемешивания расплава не приводит к дальнейшему увеличению содержания армирующей фазы в композиции. Обозначенные обстоятельства обуславливают необходимость дальнейшего поиска рациональных технологических решений по получению литых композиционных материалов с повышенным содержанием экзогенных керамических фаз в условиях литейно-металлургических процессов.

В связи с изложенным, целью работы является отработка технологических приёмов механического замешивания порошкообразных частиц карбида кремния в алюминиевый расплав для обеспечения повышенной степени усвоения армирующей фазы при номинальном содержании 25 об.% и изучение структуры и свойств полученных композиционных материалов.

МЕТОДЫ

В проведенных сериях экспериментов были отработаны температурно-временные параметры замешивания частиц карбида кремния 63С F220 (основная фракция 75–63 мкм) в нелегированный алюминий А 99 исходя из их номинального содержания 25 об.%. Плавку проводили в алундовых тиглях емкостью до 1 кг (по алюминию) в вертикальной электрической печи сопротивления типа GRAFICARBO (Италия). Для улучшения смачиваемости частиц расплавом перед замешиванием вводили технологическую добавку магния Mg 90 в количестве 2,5 масс.%. Замешивание проводили с помощью четырехлопастного импеллера из нержавеющей стали AISI 316 с нанесенным на него покрытием BN при температуре расплава 850 °С и частоте вращения импеллера 300 об/мин, при этом скорость подачи частиц SiC оставалась неизменной на протяжении всего цикла замешивания (0,04–0,06 г/с). Указанные режимы ранее были отработаны при получении металломатричных композитов с 10 об.% эк-

зогенной фазы [13]. Вместе с тем, с учетом существенных изменений вязкости композиционного расплава после ввода примерно половины от общей навески порошковой составляющей шихты частоту вращения импеллера увеличивали до 400 об/мин и поднимали температуру расплава до 900 °С. По завершении ввода всей навески частиц с поверхности расплава снимали шлак и разливали полученную композиционную суспензию при температуре 750 °С в вертикальную стальную изложницу для получения слитков диаметром 20 мм и высотой 100 мм.

По результатам экспериментов было показано, что при получении литых алюмоматричных композиционных материалов с повышенным содержанием SiC важное значение имеет управление температурным режимом процесса, поскольку продолжительное механическое перемешивание расплава сопровождается сильным падением его температуры. Таким образом, технологический процесс получения композитов с содержанием армирующих частиц 20–25 об.% должен предусматривать гибкое регулирование частоты вращения импеллера и температуры расплава в отличие от процесса получения композиционных материалов, содержащих 10–15 об.%, который реализуется при фиксированных технологических параметрах. По завершении ввода порошковой составляющей шихты механическое перемешивание расплава необходимо продолжать в течение 2–3 мин с одновременным вертикальным возвратно-поступательным перемещением импеллера по высоте тигля для устранения возможной структурной неоднородности.

Структуру полученных материалов изучали на нетравленных шлифах с помощью металлографического микроскопа Альтами МЕТ 1Т (Россия) в комплекте с цифровой камерой Ximea MQ013CG-E2. Фазовый анализ образцов в литом состоянии проводили на рентгеновском дифрактометре D8 ADVANCE (Bruker AXS, Германия) в CuK α -излучении с длиной волны 1,5406 Å при скорости вращения гониометра 4 град/мин с шагом 0,05° (2 θ) по методу Брэгга–Брентано. Идентификацию фаз осуществляли в программном комплексе DiffraC.Suite на основе базы данных Crystallography Open Database.

Твердость была измерена по методу Роквелла на шлифованных образцах на стационарном твердомере ИТР-60/150А (ООО «Метротест», г. Нефтекамск). Для определения предела прочности образцов проводились испытания на сжатие при помощи универсальной испытательной машины WDW-100E

(Time Group Inc., Китай). Сжатие образцов проводилось при комнатной температуре со скоростью движения траверсы 5 мм/мин. Для измерения электропроводности использовали вихретоковый измеритель ВЭ-27НЦ (ООО НПП «Сигма», г. Екатеринбург). Испытания на износостойкость проводились при помощи трибометра TRB (CSM Instruments, Швейцария), используя стальной шарик 6 мм в условиях сухого трения при комнатной температуре. Линейная скорость составляла 20 см/с при нагрузке 10 Н, длина пути трения – 300 м, радиус – 5 мм. Оценку износостойкости проводили по изменению массы образца до и после испытаний с точностью $\pm 10^{-4}$ г. После трибологических испытаний измеряли глубину трека износа при помощи профилометра SJ-201 (Mitutoyo, Япония).

Таблица 1 – Усредненный химический состав композиционного материала Al + 25 об.% SiC, масс.%

Table 1 – Average chemical composition of Al + 25 vol.% SiC composite material, wt.%

Al	Si	Mg	Fe	Cr	Ni	V	Cu	Ti	Zn
70,40	26,46	2,54	0,316	0,097	0,078	0,038	0,036	0,028	0,004

На рисунке 2 представлена характерная микроструктура образца синтезированного композиционного материала в литом состоянии из центральной нижней части слитка на расстоянии 15 мм от торца. Был проведен количественный металлографический анализ снимков с использованием оригинального программного обеспечения [14] по методике, изложенной ранее в работе [15]. Анализ проводили на четырех произвольно выбранных участках шлифа с последующей статистической обработкой. Результаты анализа представлены в таблице 2. Используемый показатель равномерности распределения частиц может принимать значения от 0 до 1, где нулевое значение признается совершенно однородным распределением, а значение 1 соответствует крайне неравномерному (кластеризованному) распределению. Полученные результаты свидетельствуют об однородном распределении частиц. Количественный фазовый состав материала и кристаллогеометрические параметры идентифицированных фаз приведены в таблице 3.

Таблица 2 – Результаты количественного металлографического анализа структуры литого композиционного материала Al + 25 об.% SiC

Table 2 – Results of quantitative metallographic analysis of the structure of cast Al + 25 vol.% SiC composite

Кол-во частиц	Площадь, занимаемая частицами, %	Средняя площадь, занимаемая частицей, мкм	Средний размер частицы, мкм	Равномерность распределения
141	17,689	1729,525	63,205	0,47

Статистическая обработка экспериментальных данных и визуализация результатов проводились с использованием встроенных средств программных пакетов Origin Pro и Microsoft Excel. При исследовании свойств и характеристик литых композиционных материалов в ходе прямых измерений для каждой серии опытов вычисляли среднее арифметическое полученных значений измеряемой величины, а также доверительные границы погрешности результатов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице 1 указан фактический усредненный химический состав полученного композиционного материала, определенный при помощи рентгенофлуоресцентного спектрометра Olympus Vanta C.

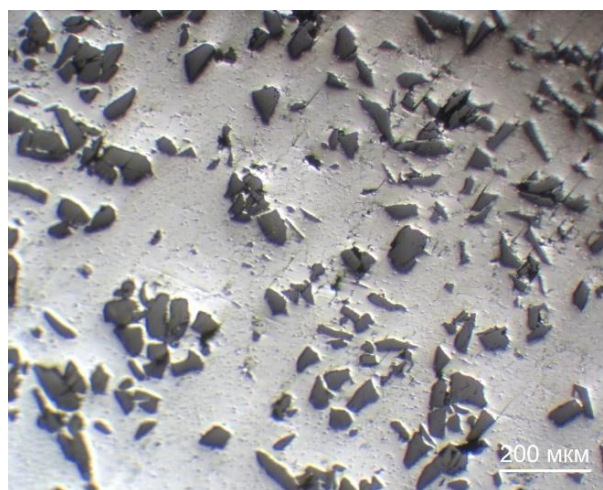


Рисунок 1 – Характерная микроструктура литого композиционного материала Al + 25 об.% SiC

Figure 1 – Characteristic microstructure of cast Al+ 25 vol.% SiC composite material

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЛИТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЭКЗОГЕННОЙ ФАЗЫ

Таблица 3 – Количественный фазовый состав материала и кристаллогеометрические параметры идентифицированных фаз

Table 3 – Quantitative phase composition of the material and crystal geometric parameters of the identified phases

Фаза	Количество, %	Пространственная группа	Параметры решетки		
			тип	a, нм	c, нм
α -Al	75,84	$Fm\bar{3}m$	куб.	4,0413	–
SiC	24,16	$F\bar{4}3m$	куб.	4,3480	–

По данным рентгеновского дифракционного анализа (рис. 2, табл. 3), полученный композиционный материал имеет двухфазную структуру, состоящую из α -твердого раствора магния в алюминии (COD 9012428) и фазы SiC (COD 9008856). При этом не обнаружено каких-либо промежуточных соединений, указывающих на химическое взаимодействие карбида кремния с алюминиевым расплавом.

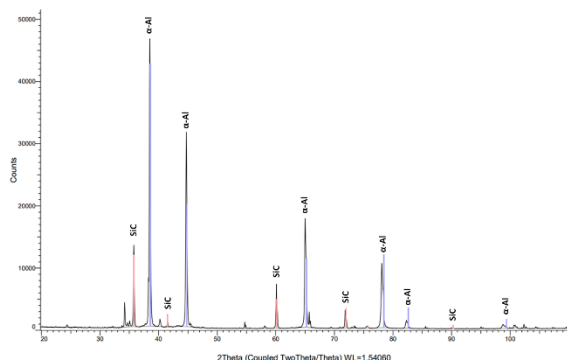


Рисунок 2 – Дифрактограмма композиционного материала Al + 25об.% SiC

Figure 2 – XRD pattern of Al + 25 vol.% SiC composite material

Проведены испытания на сжатие, используя три образца синтезированного материала диаметром 6 мм и высотой 11 мм, вырезанных из различных частей слитка. На рисунке 3 приведены результаты эксперимента, отображающие зависимость деформации от напряжения для испытанных образцов. Полученные зависимости имеют качественно схожий характер для всех образцов при небольшом разбросе значений условного предела текучести.

По результатам трибологических испытаний в условиях сухого трения скольжения было установлено, что средний коэффициент трения равен $\sim 0,42$, при этом массовый износ составил 0,0028 г. Полученные данные свидетельствуют о высокой износостойкости синтезированного материала. В частности, при близких значениях коэффициента трения износостойкость значительно выше, чем в аналогичных условиях испытаний у литого композита АК12 + 10 об.% В₄С [16]. На рисунке 4 приведена зависимость коэффициента

трения синтезированного композиционного материала Al + 25 об.% SiC от пройденного расстояния контртела.

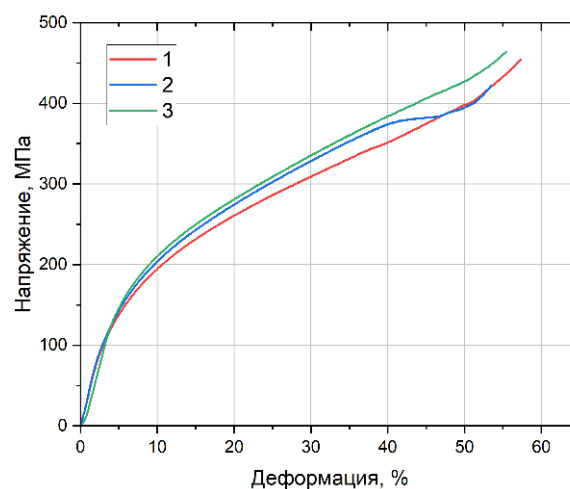


Рисунок 3 – Результаты испытаний на сжатие композиционного материала Al + 25 об.% SiC

Figure 3 – Compression test results of Al + 25 vol.% SiC composite material

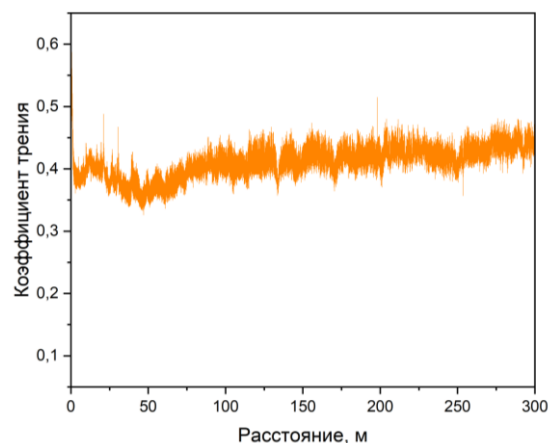


Рисунок 4 – График изменения коэффициента трения образца композиционного материала Al + 25 об.% SiC в зависимости от пути трения

Figure 4 – Graph of the coefficient of friction of the composite material sample Al + 25 vol.% SiC depending on the friction distance

В таблице 4 приведены сводные данные о физико-механических и трибологических свойствах полученного композиционного материала.

Таблица 4 – Свойства полученного композиционного материала Al + 25 об.% SiC

Table 4 – Properties of the obtained composite material Al + 25 vol.% SiC

Свойство	Значение
Электропроводность, МСм/м	12,2 ± 0,1
Твердость HRB	43,5 ± 4,4
Условный предел текучести, МПа	399 ± 35
Коэффициент трения	0,41851 ± 0,00077
Массовый износ, г	0,0028 ± 0,0001

В целом полученные результаты подтверждают эффективность отработанных технологических решений по получению литых композиционных материалов с повышенным содержанием экзогенной керамической фазы (до 25 об.%), обеспечивающих минимизацию безвозвратных потерь порошковой составляющей шихты в процессе механического замешивания и стабильное качество синтезируемых алюмоматричных композитов. При этом возможно их использование не только в качестве перспективного функционального материала, отличающегося повышенными показателями износостойкости и прочности на сжатие, но и как концентрированной композиционной лигатуры, позволяющей получать литые алюмоматричные композиты заданного состава без применения специального замешивающего оборудования. Перспективы дальнейшего развития разработанных решений могут быть связаны с поиском рациональных технологических вариантов замешивания в расплавы частиц более мелких фракций (1–10 мкм) в количестве 25–30 об.%.

ВЫВОДЫ

Полученные результаты позволяют рекомендовать отработанные регулируемые температурно-скоростные параметры механического замешивания для получения литых композиционных материалов с повышенным содержанием экзогенной армирующей фазы. Предлагаемые решения обеспечивают равномерное распределение армирующих частиц в объеме расплава при стабильном качестве получаемых материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Miracle D.B. Metal matrix composites – From science to technological significance. *Composites Science and Technology*. 2005. Vol. 65. P. 2526–2540. DOI : 10.1016/J.COMPSCITECH.2005.05.027.
- Mortensen A., Llorca J. Metal Matrix Composites. *Annual Review of Materials Research*. 2010, Vol. 40. P. 243–270. DOI : 10.1146/ANNUREV-MATSCI-070909-104511.

- Garg P., Jamwal A., Kumar D., Sadasivuni K.K., Hussain C.M., Gupta P. Advance research progresses in aluminium matrix composites: manufacturing & applications. *Journal of Materials Research and Technology*. 2019. Vol. 8. Iss. 5. P. 4924–4939. DOI : 10.1016/J.JMRT.2019.06.028.
- Prusov E.S., Panfilov A.A. Properties of cast aluminum-based composite alloys reinforced by endogenous and exogenous phases. *Russian Metallurgy (Metally)*. 2011. № 7. P. 670–674. DOI : 10.1134/S0036029511070123.
- Kala H., Mer K.K.S., Kumar S. A review on mechanical and tribological behaviors of stir cast aluminum matrix composites. *Procedia Materials Science*. 2014. Vol. 6. P. 1951–1960. DOI : 10.1016/j.mspro.2014.07.229.
- Kumar D., Angra S., Singh S. Mechanical Properties and Wear Behaviour of Stir Cast Aluminum Metal Matrix Composite : A Review. *International Journal of Engineering, Transactions A: Basics*. 2022. Vol. 35, Iss. 4. P. 794–801. DOI : 10.5829/ije.2022.35.04a.19.
- Ramanathan A., Krishnan P.K., Muraliraja R. A review on the production of metal matrix composites through stir casting – Furnace design, properties, challenges and research opportunities. *Journal of Manufacturing Processes*. 2019. Vol. 42. P. 213–245. DOI : 10.1016/J.JMAPRO.2019.04.017.
- Панфилов А.А., Прусов Е.С., Кечин В.А. Проблемы и перспективы развития производства и применения алюмоматричных композиционных сплавов. *Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева*. 2013. № 2 (99). С. 210–217.
- Aniban N., Pillai R., Pai B. An analysis of impeller parameters for aluminium metal matrix composites synthesis. *Materials & Design*. 2002. Vol. 23. Iss. 6. P. 553–556. DOI : 10.1016/S0261-3069(02)00024-9.
- Farooq M., Jalal S. A Comparative Study of the Impact of the Stirrer Design in the Stir Casting Route to Produce Metal Matrix Composites. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 2021. P. 1–15. DOI : 10.1155/2021/4311743.
- Tran T.T., Vo T.T., Cho S.C., Lee D.H., Hwang W.R. A stir casting system for drawdown of light particles in manufacturing of metal matrix composites. *Journal of Materials Processing Technology*. 2018. Vol. 257. P. 123–131. DOI : 10.1016/j.jmatprotec.2018.02.025.
- Sankhla A. & Kaushik P. Metal Matrix Composites Fabricated by Stir Casting Process – A Review. *Advances in Materials and Processing Technologies*. 2021. Vol. 8. P. 1–22. DOI : 10.1080/2374068X.2020.1855404.
- Прусов Е.С., Панфилов А.А., Аракелян С.М., Деев В.Б., Лесив Е.М. Технологические особенности получения литых алюмоматричных композиционных материалов с карбидом бора методом механического замешивания. *Литейное производство*. 2021. № 12. С. 12–16.
- Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2021619286. Программа для математической оценки степени равномерности распределения армирующих частиц в структуре композиционных материалов / Шабалдин И.В., Прусов Е.С. Заявка № 2021618320 от 02.06.2021 ; опубл. 08.06.2021.
- Prusov E.S., Shabalдин I.V., Deev V.B. Quantitative characterization of the microstructure of in situ aluminum matrix composites. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 2131. № 4. P. 042040. DOI : 10.1088/1742-6596/2131/4/042040.

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЛИТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЭКЗОГЕННОЙ ФАЗЫ

16. Prusov E., Aborkin A., Deev V., Bokaryov. D.V., Babin D. Tribological behavior of cast aluminum matrix composites after multiple remelting. Proceedings of the 18th International Conference on Tribology (SERBIATRIB'23). Kragujevac, 2023. P. 132–136.

Информация об авторах

Е. С. Прусов – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии функциональных и конструкционных материалов» Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.

И. В. Шабалдин – лаборант-исследователь Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.

В. Б. Деев – доктор технических наук, главный научный сотрудник Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых; профессор Уханьского текстильного университета; профессор кафедры «Обработка металлов давлением» Национального исследовательского технологического университета «МИСиС».

REFERENCES

1. Miracle, D.B. (2005). Metal matrix composites - From science to technological significance. *Composites Science and Technology*, (65), 2526-2540. DOI : 10.1016/J.COMPOSITE.2005.05.027.
2. Mortensen, A. & Llorca, J. (2010). Metal Matrix Composites. *Annual Review of Materials Research*, (40), 243-270. DOI : 10.1146/ANNUREV-MATSCI-070909-104511.
3. Garg, P., Jamwal, A., Kumar, D., Sadasivuni, K.K., Hussain, C.M. & Gupta, P. (2019). Advance research progresses in aluminium matrix composites: manufacturing & applications. *Journal of Materials Research and Technology*, (8), 4924-4939. DOI : 10.1016/J.JMRT. 2019.06.028.
4. Prusov, E.S. & Panfilov, A.A. (2011). Properties of cast aluminum-based composite alloys reinforced by endogenous and exogenous phases. *Russian Metallurgy (Metally)*, (7), 670-674. DOI : 10.1134/S0036029511070123.
5. Kala, H., Mer, K.K.S. & Kumar, S. (2014). A review on mechanical and tribological behaviors of stir cast aluminum matrix composites. *Procedia Materials Science*, (6), 1951-1960. DOI : 10.1016/j.mspro.2014.07.229.
6. Kumar, D., Angra, S. & Singh, S. (2022). Mechanical Properties and Wear Behaviour of Stir Cast Aluminum Metal Matrix Composite: A Review. *International Journal of Engineering, Transactions A: Basics*, (35), 794-801. DOI : 10.5829/ije.2022.35.04a.19.
7. Ramanathan, A., Krishnan, P.K. & Muraliraja, R. (2019). A review on the production of metal matrix composites through stir casting - Furnace design, properties, challenges, and research opportunities. *Journal of Manufacturing Processes*, (42), 213-245. DOI : 10.1016/J.JMAPRO.2019.04.017.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 26 марта 2023; одобрена после рецензирования 18 сентября 2023; принята к публикации 20 ноября 2023.

The article was received by the editorial board on 26 Mar 2023; approved after editing on 18 Sep 2023; accepted for publication on 20 Nov 2023.

8. Panfilov, A.A., Prusov, E.S. & Kechin, V.A. (2013). Problems and prospects of development of production and application of aluminum matrix composite alloys. *Trudi NGTU im. R.E. Alekseeva*, (2), 210-217. (In Russ.).

9. Aniban, N., Pillai, R. & Pai, B. (2002). An analysis of impeller parameters for aluminium metal matrix composites synthesis. *Materials & Design*, (23), 553-556. DOI : 10.1016/S0261-3069(02)00024-9.

10. Farooq, M. & Jalal, S. (2021). A Comparative Study of the Impact of the Stirrer Design in the Stir Casting Route to Produce Metal Matrix Composites. *Advances in Materials Science and Engineering*, (2021), 1-15. DOI : 10.1155/2021/4311743.

11. Tran, T.T., Vo, T.T., Cho, S.C., Lee, D.H. & Hwang, W.R. (2021). A stir casting system for drawdown of light particles in manufacturing of metal matrix composites. *Journal of Materials Processing Technology*, (257), 123-131. DOI : 10.1016/j.jmatprotec.2018.02.025.

12. Sankhla, A. & Kaushik, P. (2021). Metal Matrix Composites Fabricated by Stir Casting Process - A Review. *Advances in Materials and Processing Technologies*, (8), 1-22. DOI : 10.1080/2374068X.2020.1855404.

13. Prusov, E.S., Panfilov, A.A., Arakelyan, S.M., Deev, V.B. & Lesiv, E.M. (2021). Technological features of obtaining cast aluminum matrix composite materials with boron carbide by mechanical mixing. *Liteynoye proizvodstvo*, (12), 12-16. (In Russ.).

14. Shabalдин, I.V. & Prusov, E.S. Cert. 2021619286. A program for mathematical evaluation of the degree of uniformity of the distribution of reinforcing particles in the structure of composite materials, published on 08.06.2021. (In Russ.).

15. Prusov, E.S., Shabalдин, I.V. & Deev, V.B. (2021). Quantitative characterization of the microstructure of in situ aluminum matrix composites. *Journal of Physics: Conference Series*. (2131). 042040. DOI : 10.1088/1742-6596/2131/4/042040.

16. Prusov, E., Aborkin, A., Deev, V., Bokaryov. D.V., Babin, D. Tribological behavior of cast aluminum matrix composites after multiple remelting. Proceedings of the 18th International Conference on Tribology (SERBIATRIB'23). Kragujevac, 2023. P. 132-136.

Information about the authors

E. S. Prusov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Technologies of Functional and Structural Materials" of the Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs.

I. V. Shabalдин - laboratory assistant-researcher of the Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs.

V. B. Deev - Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher of the Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs; Professor of the Wuhan Textile University; Professor of the Department "Metal Forming" of the National University of Science and Technology MISIS.



Научная статья
2.6.17 – Материаловедение (технические науки).
УДК 620.1:669.018.95

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.034



ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ И АДГЕЗИОННУЮ ПРОЧНОСТЬ МЕТАЛЛОКОМПОЗИТНЫХ БРИКЕТОВ ДЛЯ ФРИКЦИОННЫХ ПОГЛОЩАЮЩИХ АППАРАТОВ И ТОРМОЗНЫХ КОЛОДОК ТЯЖЕЛОЙ ТЕХНИКИ

Сергей Анатольевич Гаврилов¹, Денис Александрович Габец²,
Михаил Алексеевич Гурьев³, Сергей Геннадьевич Иванов⁴

^{1, 3, 4} Алтайский государственный технический университет, Россия, г. Барнаул

² ООО «Композит-инжиниринг», Россия, г. Барнаул

^{3, 4} Уханьский текстильный университет, г. Ухань, КНР

³ Zhejiang Brilliant Refrigeration Equipment Co., Ltd. China

¹ serggavrilov873@gmail.com

² ke-altai@mail.ru,

³ gurievma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9191-17872>

⁴ serg225582@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5965-0249>

Аннотация. Основные требования, предъявляемые к фрикционным пластинам и тормозным накладкам тяжелой техники - устойчивость к ударным нагрузкам и термоциклам в интервале температур от температуры окружающей среды до 850...870 °С, стабильность коэффициента трения, отсутствие схватывания с материалом тормозных дисков, изготавливаемых из стали либо чугуна, а также максимально возможная удельная энергоемкость материалов тормозных колодок. В настоящей работе проведены металлографические исследования с применением оптической микроскопии и установлено, что неудовлетворительное качество металлокерамического покрытия фрикционной пластины обусловлено локализацией сульфидной эвтектики на границе «керамика-подложка», а также наличием оксидных пленок на поверхности частиц порошков-прекурсоров, что в свою очередь приводит к формированию пористой границы «керамика-подложка». Проведен металлографический анализ влияния различных микродобавок в порошковый прекурсор для формирования металлокомпозитных пластин, таких как медный, никелевый и железные порошки различных фракций. Установлено, что фракционный состав добавляемых порошков в большей степени определяет структурно-фазовое состояние, а также адгезионную прочность границы «керамика-подложка».

Ключевые слова: металлокомпозиты, фрикционные пластины, энергопоглощающие аппараты, тормозные колодки.

Благодарности: исследования выполнены на базе инжинирингового центра «ХимБио-Маш АлтГТУ».

Для цитирования. Влияние химического состава на структурно-фазовое состояние и адгезионную прочность металлокомпозитных брикетов для фрикционных поглощающих аппаратов и тормозных колодок тяжелой техники / С. А. Гаврилов [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 4, С. 264–269. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.034. EDN: <https://elibrary.ru/DJTPJW>.

INFLUENCE OF CHEMICAL COMPOSITION ON STRUCTURAL-PHASE STATE AND ADHESIVE STRENGTH OF METAL-COMPOSITE BRIQUETTES FOR FRICTION DRAFT GEARS AND BRAKE PADS OF HEAVY EQUIPMENT

Sergei A. Gavrilov ¹, Denis A. Gabets ², Michael A. Guryev ³, Sergei G. Ivanov ⁴

¹ Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

² Composite-engineering LLC, Barnaul, Russia

³ Wuhan Textile University, Wuhan, China,

⁴ Zhejiang Brilliant Refrigeration Equipment Co., Ltd. China

^{1, 3, 4} serggavrilov873@gmail.com

² ke-altai@mail.ru

^{3, 4} gurievma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9191-17872>

³ serg225582@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5965-0249>

Abstract. *The main requirements for friction plates and brake linings of heavy equipment are resistance to shock loads and thermal cycles in the temperature range from ambient temperature to 850...870 °C, stability of the friction coefficient, lack of adhesion to the material of brake discs made of steel or cast iron, as well as the maximum possible specific energy intensity of brake pad materials. In this work, metallographic studies were carried out using optical microscopy and it was established that the unsatisfactory quality of the metal-ceramic coating of the friction plate is due to the localization of sulfide eutectic at the ceramic-substrate interface, as well as the presence of oxide films on the surface of particles of precursor powders, which in turn leads to the formation porous ceramic-substrate interface. A metallographic analysis of the influence of various microadditives in the powder precursor for the formation of metal composite plates, such as copper, nickel and iron powders of various fractions, was carried out. It has been established that the fractional composition of the added powders largely determines the structural-phase state, as well as the adhesive strength of the ceramic-substrate interface.*

Keywords: metal composites, friction plates, energy-absorbing devices, brake pads.

Acknowledgment: The research was carried out on the basis of the engineering center "ChemBioMash ASTU".

For citation: Gavrilov, S. A., Gabets, D. A., Guryev, M. A. & Ivanov, S. G. (2023). Influence of chemical composition on structural-phase state and adhesive strength of metal-composite briquettes for friction draft gears and brake pads of heavy equipment. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 264-269. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.034. EDN: <https://elibrary.ru/DJTPJW>.

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях развития машиностроения остро стоит вопрос надежности и долговечности узлов, работающих в сложных режимах ударно-фрикционного износа. Детали тормозных систем, рабочие части горнодобывающих машин и детали железнодорожного подвижного состава, изготовленные из металлокомпозитных сплавов на основе порошковых материалов, должны обеспечивать высокую надежность как при воздействии ударных нагрузок, так и обеспечивать высокую износостойкость и прочность в различном диапазоне нагрузок и температур. При этом они должны удовлетворять строгим требованиям стандартов, обеспечивая необходимую твердость и механические свойства материалов в

интервале температур от –50 до 850 °С. При этом, как известно, высокая прочность сопровождается повышением хрупкости материала, следовательно в процессе износа наряду со схватыванием трущихся поверхностей происходит хрупкое разрушение и выкрашивание частиц с поверхностей трения. Одним из наиболее ответственных изделий в паре трения является энергопоглощающий фрикционный металлокомпозитный брикет тормозных систем и энергопоглощающих устройств горнодобывающих машин и железнодорожного подвижного состава.

МЕТОДЫ

Подготовку для исследования методами оптической, электронной и сканирующей мик-

роскопии осуществляли с помощью прецизионного отрезного станка MICRACUT–201. Далее образцы для оптической микроскопии запрессовывали в бакелитовый компаунд с помощью автоматического программируемого пресса METAPRESS, после чего осуществляли шлифовку на автоматическом шлифовально-полировальном станке DIGIPREP.

Шлифовку производили на алмазных шлифовальных кругах MAGNETO I 54 grid, далее – на дисках MAGNETO II с зернистостью 18 grid. В качестве смазочно-охлаждающей жидкости использовали воду. Полировку осуществляли на полировочных кругах с периодической подачей алмазной суспензии зернистостью 9, 6, 3, 1 мкм. На окончательном этапе производили суперфинишную полировку кислотной суспензией оксида кремния зернистостью 0,05 мкм.

Травление приготовленных шлифов осуществляли следующими реактивами:

- 5 % спиртовой раствор пикриновой кислоты («Пикраль») – выявление общей микроструктуры, идентификация фазового состава материала.

- 5 % спиртовой раствор азотной кислоты («Ниталь») – выявление общей микроструктуры, идентификация фазового состава материала.

- Реактив Бераха № 3 («Сульфаминия»).

Микроскопические исследования проводили на оптическом микроскопе «Carl Zeiss Axio Observer Z1m» и растровом электронном микроскопе (РЭМ) с ЭДС системой химического анализа Tescan MIRA 3LMU.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Специфика металлокомпозитного брикета заключается в том, что он работает в режиме ударно-фрикционного трения, характеризующемся малой длительностью процесса торможения, сопряженным с высоким удельным поверхностным давлением зачастую при высоких температурах контактных поверхностей пары трения, достигающих значений 800–900 °С. Данные условия работы предъявляют повышенные требования к поверхностной и объемной твердости, стабильности фрикционных характеристик, металлокомпозитного брикета, а также к прочности адгезии самого металлокомпозитного брикета к стальной либо чугунной подложке.

Главным рабочим элементом в тяжело-нагруженном фрикционном узле служит фрикционная пластина, которая состоит из металлической пластины и припеченного к ней металлокомпозитного брикета. В настоящее время самым применяемым фрикционным материалом является композиционный материал

на основе металлокерамики. Процентный состав данного материала, как правило, подобран таким образом, чтобы максимально удовлетворить основным показателям: коэффициенту трения, стабильности коэффициента трения и износостойкости поверхностей.

Основную долю энергии, выделяющейся при торможении, поглощает фрикционный узел, поглощение энергии происходит вследствие работы сил трения в движении стального либо чугунного контр-тела относительно фрикционной металлокомпозитной пластины. При этом взаимодействии происходит выделение большого количества тепла. Данный режим работы характеризуется малой длительностью процесса (обычно от 0,03 до 10 с) с высоким удельным давлением (до 100 МПа), при этом температуры на поверхности пар трения достигают 870 °С [1–3].

Главные требования, предъявляемые к металлокерамической фрикционной пластине тормозных устройств, работающих в тяжело-нагруженных условиях – устойчивость к ударным нагрузкам, устойчивость к термоциклам в интервале температур от температуры окружающей среды (до минус 50 °С) до 850–870 °С, высокая стойкость к касательным напряжениям, стабильность коэффициента трения в рабочем интервале температур, отсутствие схватывания с материалом сопрягаемого стального либо чугунного контр-тела, высокий ресурс работы – до 10 000 циклов нагружения. Высокая энергоемкость материала керамики.

Наиболее частыми причинами выхода из строя металлокомпозитных тормозных накладок и колодок являются в большинстве случаев отслаивание металлокомпозитного брикета от стальной либо чугунной основы, а также интенсивный износ как самого металлокомпозита, так и сопряженной с ним контрповерхности, что отрицательно влияет на работоспособность фрикционного энергопоглощающего аппарата. Исходя из этого, повышение прочности и износостойкости металлокомпозитного брикета необходимо не только с точки зрения увеличения срока службы детали, но и для нормального функционирования фрикционного энергопоглощающего аппарата в целом [1–3]. При этом традиционные методы поверхностного упрочнения материалов, такие как напыление наплавка и поверхностная химико-термическая обработка в данном случае неприемлемы ввиду малой толщины формирующихся слоев, а также их чрезмерной поверхностной твердости [4–6], приводящей к сильному износу поверхности сопряженного контр-тела.

Нанесение дополнительного рельефа на стальном основании существенно повышает

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ И АДГЕЗИОННУЮ ПРОЧНОСТЬ МЕТАЛЛОКОМПЗИТНЫХ БРИКЕТОВ ДЛЯ ФРИКЦИОННЫХ ПОГЛОЩАЮЩИХ АППАРАТОВ И ТОРМОЗНЫХ КОЛОДОК ТЯЖЕЛОЙ ТЕХНИКИ

сцепление материалов, наблюдаются частицы металлокомпозита на стальном основании после проведения испытаний на изгиб. Возникающие в процессе изготовления металлокомпозитных брикетов термические напряжения приводили к появлению трещин на границе контакта металлокомпозита со стальным основанием.

Применение нового химического состава, заключающегося в микродобавках (0,7 масс. %) порошков как никеля, так и меди либо железа с фракционным составом 3–5, 10–14 и 20–25 мкм позволило существенно повысить адгезионные свойства спекаемых материалов как самих по себе, так и со стальными и чугуными подложками (рис. 1).

При этом выяснилось, что в большей степени влияние на адгезионную прочность металлокомпозита оказывает прежде всего фракция добавляемого порошка.

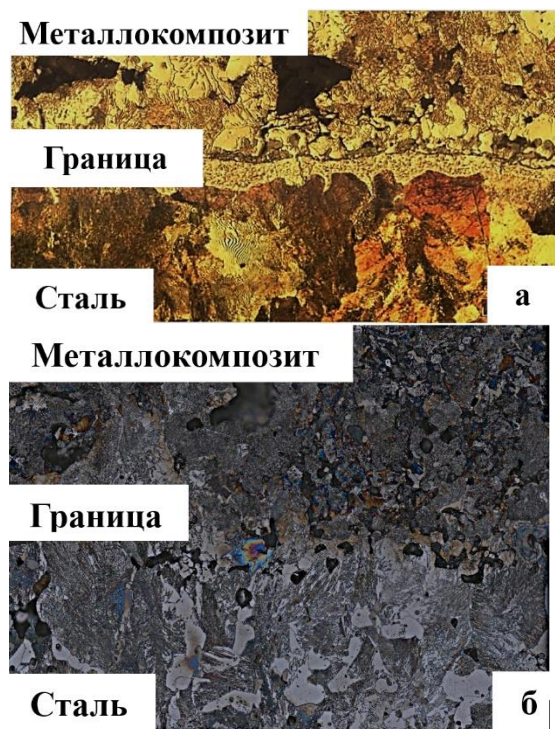


Рисунок 1 – Микроструктура припеченного металлокерамического брикета и стального основания без добавок микропорошков (а) и с добавками микропорошков (б)

Figure 1 – Microstructure of a baked metal-ceramic briquette and a steel base without additives of micro-powders (a) and with additives of micro-powders (b)

Испытания, проведенные на металлокомпозитных брикетах, изготовленных по оптими-

зированной технологии с добавлением мелкодисперсных порошков железа фракции 10–14 мкм, показали, что разрушение металлокомпозитного брикета в этом случае происходит не по границе раздела между металлокерамикой и металлической подложкой, а по металлокерамической составляющей металлокомпозита (рис. 2 и 3 и табл. 1).



Рисунок 2 – Оптическое изображение области разрушения металлокомпозита после испытаний на адгезию металлокерамической составляющей металлокомпозитного брикета методом трехточечного изгиба

Figure 2 – Optical image of the fracture region of a metal composite after adhesion tests of a metal-ceramic component of a metal composite briquette using a three-point bending method

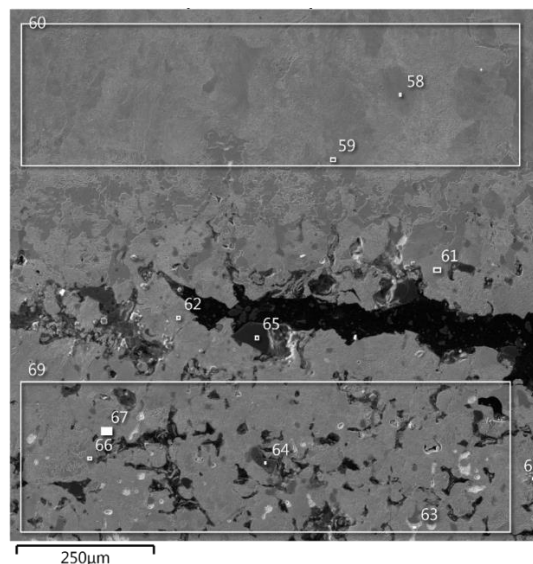


Рисунок 3 – Изображение области разрушения металлокомпозита после испытаний на адгезию металлокерамической составляющей металлокомпозитного брикета методом трехточечного изгиба, полученное на РЭМ

Figure 3 is an image of the fracture region of the metal composite after adhesion tests of the metal-ceramic component of the metal composite briquette by the three-point bending method, obtained on SEM

Как видно из таблицы 1, на границе раздела наблюдается диффузное взаимопроникновение металлокерамической составляющей и металлической матрицы протяженностью области взаимодействия 280–420 мкм. А отслоение металлокерамики от металлической подложки происходит по верхней границе области диффузного взаимопроникновения.

Для выявления характера износа фрикционного композиционного материала применяемого в узле трения был поставлен эксперимент, заключающийся в том, что в тело брикета фрикционного композиционного материала внедрялся вращающийся инструмент, представляющий собой форму цилиндра с гладкой поверхностью и не имеющий каких-либо режущих кромок, имитирующий ударно-фрикционный характер нагружения пары трения «металлокомпозитный брикет – контр-тело».

Инструмент изготавливается из твердосплавного материала ВК8 для имитации наиболее жесткого режима нагружения металлокерамического композита. Под действием вертикальной подачи прикладывалась осевая сила, имитирующая силу прижатия контр-тела к пластине.

Вращательное движение инструмента имитировало трение скольжения. Путем изменения скорости вращения шпинделя, достигалась различная температура в зоне контакта и имитировались различные температурно-силовые условия работы металлокомпозита (рис. 4).

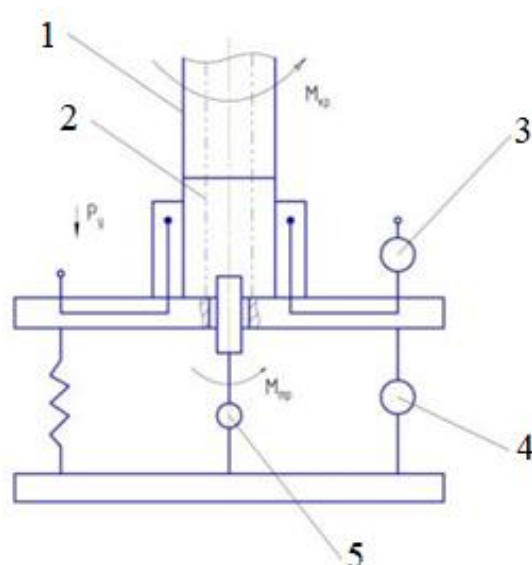


Рисунок 4 – Схема измерительного стенда: 1– инструмент-имитатор контр-тела, 2– Металлокомпозитный брикет, 3– датчик термодпары, 4– динамометр усилия контакта, 5– динамометр момента трения

Figure 4 – Diagram of the measuring stand: 1– counterbody simulator tool, 2– Metal composite briquette, 3– thermocouple sensor, 4– contact force dynamometer, 5– friction torque dynamometer

Таблица 1. Химический состав разрушенного образца металлокомпозита после механических испытаний

Table 1 - Chemical composition of the destroyed metal composite sample after mechanical tests

Спектр	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Cr	Mn	Fe	Mo	Sn	Pb
Спектр 58				0,32				0,59	99,99			
Спектр 59	4,47		0,46	0,68	0,12	0,13		0,6	95,76		0,52	
Спектр 60	3,22		0,22	0,35	0,12		0,15	0,64	98,84		0,36	
Спектр 61	2,61		0,18	15,21	0,24				80,91		3,32	
Спектр 62	3,47		0,24	33,32	0,28				62,95		3,71	
Спектр 63	12,34								1,92		14,43	86,62
Спектр 64	32,63	7,24	5,2	14,5	14,18	7,43	0,76	0,95	23,71			1,34
Спектр 65	57,37			49,28					0,65			
Спектр 66	2,72								98,16	1,09	3,48	
Спектр 67	4,68			17,62	0,61				75,58		4,27	
Спектр 68	34,77			0,14	0,13				58,84		0,55	
Спектр 69	18,38		0,57	21,55	1,21	0,21			50,47	1,79	4,17	2,97

Проведенные эксперименты по установлению относительной износостойкости металлокомпозита свидетельствуют о том, что износ брикета происходит путем выкрашивания частиц с контактирующей поверхности металлокерамики. Это объясняется тем, что брикет получен путем спекания композиции материалов, при этом матрица, состоящая из железа, не является монолитной связкой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований, установлено, что наиболее оптимальными показателями с точки зрения экономической целесообразности и получаемых свойств является порошок железа с фракцией 10–14 мкм, так как порошки меньшей фракции имеют существенно большую цену, а порошки

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ И АДГЕЗИОННУЮ ПРОЧНОСТЬ МЕТАЛЛОКОМПЗИТНЫХ БРИКЕТОВ ДЛЯ ФРИКЦИОННЫХ ПОГЛОЩАЮЩИХ АППАРАТОВ И ТОРМОЗНЫХ КОЛОДОК ТЯЖЕЛОЙ ТЕХНИКИ

никеля и меди соизмеримых с железом фракций имеют в разы большую стоимость при неочевидном выигрыше в приросте характеристик металлокомпозитного брикета. Таким образом, применение нового химического состава и усовершенствованной технологии изготовления позволило существенно повысить адгезионные свойства спекаемых материалов, при этом проникновение глубина проникновения активных частиц металлокомпозитного сплава составляет около 1 мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кеглин Б.Г., Болдырев А.П., Ионов В.В. Совершенствование металлокерамического сплава для амортизаторов удара железнодорожного подвижного состава. Вестник Брянского государственного технического университета. 2012. №2 (34), с. 26- 32.
2. Gabets A.V., Markov A.M., Gabets D.A., Chertovskikh E.O. Upravlenie iznosostoičnost'yu otvetstvennykh uzlov i detalei podvizhnogo sostava [Wear-Resistance Properties Control of Units and Details of the Rolling Stock]. Barnaul, Polzunov Alt. State Techn. Univ. Publ, 2016, 213 p. ISBN 978-5-7568-1188-9.
3. Габец Д.А., Марков А.М., Габец А.В., Гурьев А.М., Гурьев М.А., Иванов С.Г., Иванов А.В. Исследование работы металлокомпозитных брикетов во фрикционных узлах поглощающих аппаратов. Металлург. 2020. № 3. С. 86-91.
4. Власова О.А., Иванов С.Г., Гурьев М.А., Кошелева Е.А., Гурьев А.М. Повышение прочности диффузионных карборидных покрытий термоциклированием в процессе их получения. Материалы IV Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых "Наука и молодежь - 2007" (НиМ-2007). 2007. С. 110-112.
5. Гурьев М.А., Фильчаков Д.С., Иванов С.Г., Гурьев А.М., Деев В.Б. Технология упрочнения стальных изделий в процессе литья. Литейщик России. 2013. № 6. С. 36-38.
6. Гурьев М.А., Иванов А.Г., Иванов С.Г., Гурьев А.М. Упрочнение литых сталей поверхностным легированием из борсодержащих обмазок. Успехи современного естествознания. 2010. № 3. С. 123.

Информация об авторах

С. А. Гаверилов – аспирант АлтГТУ.
Д. А. Габец – директор ООО «Композит-инжиниринг».

М. А. Гурьев – к. т. н., доцент кафедры «Машиностроительные технологии и оборудование» АлтГТУ, профессор Уханьского текстильного университета (КНР), инженер-исследователь Zhejiang Brilliant Refrigeration Equipment Co., Ltd. (КНР).

С. Г. Иванов – д. т. н., ведущий научный сотрудник Научного управления, и.о. заведующего кафедрой «Машиностроительные технологии и оборудование», профессор кафедры «Современные специальные материалы», директор лаборатории микроскопических исследований ИЦ «ХимБиоМаш» АлтГТУ, профессор Уханьского текстильного университета (КНР).

Information about the authors

S. A. Gavrilov – Postgraduate student at Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia.

D. A. Gabets – Director of Kompozit-engineering LLC.

M. A. Guryev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering Technologies and Equipment, Polzunov Altai State Technical University, professor at Wuhan Textile University (PRC), research engineer at Zhejiang Brilliant Refrigeration Equipment Co., Ltd. (PRC).

S. G. Ivanov – Doctor of Technical Sciences, leading researcher of the Scientific Directorate, acting. Head of the Department of Mechanical Engineering Technologies and Equipment, Professor of the Department of Modern Special Materials, Director of the Microscopic Research Laboratory of the ChemBioMash Research Center of the Polzunov Altai State Technical University, professor at Wuhan Textile University (PRC).

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.*

Статья поступила в редакцию 26 марта 2023; одобрена после рецензирования 18 сентября 2023; принята к публикации 20 ноября 2023.

The article was received by the editorial board on 26 Mar 2023; approved after editing on 18 Sep 2023; accepted for publication on 20 Nov 2023.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Абакирова Э.М.	127	Ландиховская А. В.	133
Акимов М. Ю.	103	Лапшов М. А.	178
Аксентьева В. В.	54	Левин Т. А.	118
Алтынов А. А.	237	Лоскутов С. Р.	214
Арышенский В. Ю.	199	Макаров В. В.	178
Арышенский Е. В.	178, 199	Малкин К. А.,	178
Ахметова М. К.	208	Миронов А. М.	103
Бегеулов М. Ш.,	94	Мирошина Т. А.	62
Бекешев А. З.	208	Михайлова О. Ю.	70
Беушев А. А.	230	Московский С. В.	166
Богданов И. А.	237	Мостовой А. С.	208
Болтенко Ю. А.	15	Музинов А. М.	249
Буравова Н. А.	94	Мячикова Н. И.	15
Вайтанис М. А.	154	Надточий Л. А.	110
Василенко В. Н.	85	Насырова И. И.	249
Васильев А.П.	223	Неверов Е. Н.	244
Ващук Е. С.	166	Никитин И. А.	45
Вэйхонг Лу	110	Новокшанова А. Л.	38
Габец Д. А.	264	Орловцева О. А.	45
Габриелян Д. С.	38	Остриков А. Н.	85
Гаврилов С. А.	264	Отт Е. Ф.	24
Гебремескал Е. X.	110	Охлопкова А.А.	223
Голубева Н. С.	244	Охременко С.И.	159
Горелкина А. К.	244	Пестерев М. А.	94
Громов В. Е.	191	Пляшечник М. А.	214
Гурьев М. А.	264	Попов В. Г.	54
Гусакова Г. С.	7	Порфирьев М. А.	191
Давыденко Н. И.	118	Почетуха В. В.	166
Деев В. Б.	257	Прусов Е. С.	257
Демиденко Г. А.	140	Рагазин А. А.	199
Дмитриев А. В.	249	Распосиенко Д. Ю.	178
Дорофеев Р. В.	24	Резниченко И. Ю.	62
Дриц А. М.	199	Романов Д. А.	166
Егорова Е. Ю.	29	Рыбакольникова И. Ю.	118
Елисеева Е. Н.	15	Рядинская А.А.	76
Ефрюшин Д. Д.	230	Сапожников А. Н.	118
Жбанова Е. В.	103	Сарсенбаев Б. О.	208
Жидехина Т. В.	103	Симкин Ю. Я.	214
Зинуров В. Э.	249	Скороспелова Е. В.	70
Иванов С. Г.	264	Соколов С.А.	159
Иванов Ю. Ф.	191, 166	Соснина Д. В.	237
Иванова Л. А.	244	Супрун Н. П.	7
Кадыкова Ю. А.	208	Тамабаева Б.С.	127
Казанцев Е. В.	94	Тастанова Л. К.	208
Казарян Л. К.	214	Творогова А. А.	133
Казыдуб Н. Г.	110	Терехина А. В.	85
Калганова С. Г.	208	Тефилова С. Н.	45
Киргина М. В.	237	Тимощук И. В.	244
Клоконос М. В.	45	Типсина Н. Н.	140
Колесниченко, М.Н.	146	Ушканов А.А.	223
Кольцов В. А.	103	Филатова Е. Г.	7
Кондратьев Н. Б.	94	Функ И. А.	24
Коновалов С. В.	178, 199	Харьков В. В.	249
Копылов М. В.	85	Ходырева З. Р.	154
Копылова А. В.	118	Чернов Р. В.	110
Кох Д. А.	140	Чубарова М. В.	45
Кочнева С. Е.	133	Чуев С. А.	76
Коцаев И. А.	76	Чуркина Я. В.	15
Крюков Р. Е.	191	Шабалдин И. В.	257
Кузнецова Т. Н.	24	Шелковская Н. К.	70
Курцева В.Г.	146	Шляров В. В.	191
Лавриненко К. В.	76	Шохин Д. А.	29
Лазарева Н.Н.	223	Яшонков А.А.	159

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

Статья объемом 5 страниц (по согласованию с редакцией, допускаются статьи объемом от 3 до 10 страниц), имеющая индекс УДК, аннотацию и ключевые слова на русском языке, перевод метаданных статьи на английский язык, сведения об авторах (учёной степени, звания и места работы, e-mail и идентификаторе ORCID).

Работы принимаются в текстовом редакторе Microsoft Word.

Во вкладке «Разметка страницы»: используется *размер бумаги формата А4, ориентация листа книжная. Поля: верхнее – 3,5 см; нижнее – 2,5 см; левое – 2,5 см; правое – 2,5 см; переплет – 0 см*; В диалоге «Колонки» – «Другие колонки» выбирается расположение текста в "две" колонки, устанавливается *ширина колонок – 7,65 см, промежуток между ними – 0,7 см*. В диалоге «Расстановка переносов» выбирается "авто".

Во вкладке «Вставка» выбирается «Верхний колонтитул» – «Пустой», далее появляется вкладка «Конструктор», включаются «Особый колонтитул для первой страницы» и «Разные колонтитулы для четных и нечетных страниц». Колонтитулы от края: *верхний – 2,0 см; нижний – 2,0 см*.

Структура статьи в обязательном порядке должна содержать:

- Тип статьи (научная статья, обзорная статья), научная специальность, индекс УДК и doi (размещение в левом верхнем углу документа, каждая запись на отдельной строке, без точек).

- Названия статей набираются прописными буквами (шрифт «Arial», размер шрифта текста – 14 пунктов, полужирный) по центру документа.

- Имена, отчества и фамилии авторов размещаются под названием статьи (шрифт «Arial», размер шрифта текста – 12 пунктов), над фамилией ставят надстрочную цифру, по порядку, ниже все надстрочные цифры расшифровываются (сведения о месте работы, город, страна, адрес электронной почты и идентификатор ORCID авторов).

- Аннотацию формируют по ГОСТ Р 7.0.99. Объем аннотации от 150 до 250 слов. Перед аннотацией приводят слово «Аннотация» («Abstract»). Шрифт «Arial», размер шрифта – 10 пунктов, курсив, красная строка – 0,8 см, интервал между строками «одинарный». Аннотация должна быть информативной (не содержать общих слов), оригинальной, отражать основное содержание статьи и результаты исследования (обоснование, предмет, цель работы, метод или методологию проведения работы, область применения результатов, выводы).

- Перед ключевыми словами приводят слово «Ключевые слова» («Keywords») Количество ключевых слов или словосочетаний от 10 до 15. (шрифт «Arial», размер шрифта – 10 пунктов, курсив, красная строка – 0,8 см, интервал между строками «одинарный»).

- После ключевых слов могут быть приведены слова благодарности организациям, учреждениям, руководителям, могут быть приведены сведения о проектах, научно-исследовательских работах, финансировании и т.п. Эти сведения приводят с предшествующим словом «Благодарности» («Acknowledgements») (шрифт «Arial», размер шрифта – 10 пунктов, курсив, красная строка – 0,8 см, интервал между строками «одинарный»).

- Далее отделяют чертой строку и ниже пишут «Для цитирования» («For citation»), после вставляют библиографическую запись на статью для дальнейшего цитирования (составляют по ГОСТ Р.7.0.5-2008). После записи отделить чертой данный текст.

- После записи всех метаданных статьи на русском языке необходимо привести все метаданные на английском языке (отчества сокращают до буквы в английском языке).

- Основной текст (для основной части текста используется шрифт «Arial», размер шрифта основного текста – 10 пунктов, красная строка (отступ) – 0,8 см, интервал между строками «одинарный»).

Структура основного текста статьи:

- 1) **Введение** – в этом разделе описывается существующая научная проблема и представляется краткий литературный обзор по состоянию обозначенной проблемы.

- 2) **Методы / методология / методика исследований** – приводится теория или методика экспериментального исследования, приводится обоснование выбора данного материала и методов исследования.

- 3) **Результаты и их обсуждение** – раздел содержит краткое описание полученных теоретических или экспериментальных результатов. Результаты рекомендуется излагать в прошедшем времени. В обсуждении рекомендуется объяснить значимость вашего исследования. Показать, какие знания были получены результате исследования, обозначить их перспективы и сравнить их с существующим положением в данной области, описанным в разделе «Введение». Данные должны быть систематизированы и иметь логическую связь с текстом.

- 4) **Выводы** – этот раздел рекомендуется начать с нескольких фраз, подводящих итог проделанной работе, а затем в виде списка представляются основные выводы.

- 5) **Список литературы** (шрифт «Arial», размер – 9 пунктов) – не менее 10 позиций, оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления».

- Сведения об авторах приводится после списка литературы, с предшествующими словами «Информация об авторах» - инициалы, фамилия — учёная степень, звание, место работы, телефон);

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

- После приводят список литературы на латинице (REFERENCES) согласно стилю APA (American Psychological Association - <https://apastyle.apa.org>). Нумерация записей в дополнительном перечне должна совпадать с нумерацией записей в основном перечне затекстовых библиографических ссылок.

- Ниже приводятся сведения об авторах на английском языке после слов «Information about the authors».

- В конце статьи авторы должны указать об отсутствии или наличии конфликта интересов.

Для создания формул и таблиц используются встроенные возможности Microsoft Word. Рисунки цифрового формата (в электронном виде) создаются средствами Microsoft Word или другими программами и вставляются в нужное место документа, название таблиц и рисунков дублируются на английском языке.

Размеры рисунков не должны превышать границы полей страницы основного текста документа с учетом подрисуночной подписи. Рисунки издательством не редактируются. Если рисунок по ширине превышает размер колонки, то необходимо ставить перед ним и после него разрыв раздела на текущей странице и располагать рисунок в начале или в конце страницы.

Рисунки, надписи и объекты Microsoft Word должны перемещаться вместе с текстом, т.е. быть не поверх текста.

Шаблон для оформления статьи можно скачать на сайте журнала: <https://ojs.altstu.ru/index.php/PolzVest>.

К статье необходимо предоставлять следующие документы: **экспертное заключение, согласие каждого автора на размещение статьи, согласие на обработку персональных данных.**

К публикации принимаются статьи, **ранее нигде не опубликованные** и не представленные к печати в других изданиях. Статьи, отбираемые для публикации в журнале, проходят двухстороннее слепое рецензирование. Автор статьи имеет право предложить двух рецензентов по научному направлению своего исследования.

Публикации в журнал принимаются на русском и английском языках.

Электронная версия публикации должна быть отправлена в формате текстового редактора Microsoft Word (расширения .doc, .docx) по электронной почте по адресу polz_journal@mail.ru. Название файла формируется из фамилии и инициалов первого автора (к примеру, «ИвановАА.doc»). Если статей несколько, то к названию файла через знак подчеркивания добавляется порядковый номер (к примеру, «ИвановАА_1.doc»).

Все статьи будут проверены в системе «Антиплагиат», при оригинальности менее 75 % статьи будут возвращены авторам.

Контактная информация:

Алтайский край, г. Барнаул, пр-т Ленина, д. 46, 119 ГК, почтовый индекс: 656038.

Стопорева Татьяна Александровна – тел.: 8 (3852) 290946, e-mail: polz_journal@mail.ru.

Подписано в печать 27.12.2023. Формат 60×84 1/8. Печать цифровая.

Усл. п. л. 31,62 Тираж 100 экз. Заказ 2023 – 50.

Отпечатано в типографии АлтГТУ им. И. И. Ползунова

Адрес типографии: 656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина 46

АлтГТУ им. И.И. Ползунова
656038 г. Барнаул, пр-т Ленина, 46, каб. 119 главного корпуса
тел. +7 (3852) 29-09-46
сайт: <https://ojs.altstu.ru/index.php/PolzVest/>
e-mail: polz_journal@mail.ru
Дизайн обложки: Р.С. Жуковский, доцент кафедры ТИАрх