



ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК

ISSN 2072-8921 (Print)

ISSN 3034-3941(Online)

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

№ 3

2025

Ползуновский ВЕСТНИК

ISSN 2072-8921 (Print)
ISSN 3034-3941 (Online)

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

№ 3 2025 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)
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., вице-президент НОЧУ ДПО «Международная промышленная академия», (г. Москва)
Тамова М. Ю., д.т.н., проф., 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)
Мусина О. Н., д.т.н., доц., АлтГТУ (г. Барнаул)
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 03.10.2025 г.
Цена 800 рублей.



Polzunovskiy VESTNIK

ISSN 2072-8921 (Print)
ISSN 3034-3941 (Online)

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

Publication frequency: quarterly

№ 3 2025 г.

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 Ilyasov, 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 Anan'eva, 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 03.10.2025



СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

<i>В. В. Востриков, А. А. Нестеренко</i> Совершенствование технологии получения чипсов из свинины, прижизненно обогащенной селеном и йодом 7	<i>А. Я. Долженко</i> Влияние послеуборочной обработки плодов яблони раствором хлористого кальция на качественные характеристики при хранении 79
<i>Д. С. Кожемякин, Е. П. Каменская</i> Оптимизация параметров щелочной делигнификации подсолнечной лузги 13	<i>А. А. Рядинская, С. А. Чуев, Е. П. Ерёменко</i> Моделирование рецептурной композиции и оценка качества вареного колбасного изделия на растительной основе 85
<i>И. Ю. Резниченко, Т. А. Донченко</i> Оценка качества и подлинности меда по общим физико-химическим показателям и содержанию основных сахаров 19	<i>М. С. Киреева, Е. В. Трухина, Е. А. Харитонова</i> Технология специализированного кекса для людей с пищевой аллергией на куриный белок 92
<i>Л. А. Рябоконева, Л. В. Пермькова, И. Ю. Сергеева, А. С. Марков</i> Флюидная экстракция как способ выделения, фракционирования биологически активных веществ 24	<i>О. Н. Мусина, Д. А. Усатюк, Н. И. Бондаренко</i> Кисломолочный напиток с тритерпеносодержащим сырьем 98
<i>С. Л. Тихонов, Н. В. Тихонова, О. О. Бабич, С. А. Сухих, Е. Б. Сысеев, Д. А. Зверева</i> Разработка и прогнозирование свойств нового биопептида для диетического питания 31	<i>З. Н. Хатко, А. И. Блягоз, М. К. Богус, Р. Х. Блягоз</i> Разработка и оценка качества сдобного печенья функционального назначения с использованием семян льна и различных видов муки 105
<i>В. А. Шохалов, А. И. Гнездилова, В. Н. Шохалова</i> Скорость кристаллизации лактозы в производстве молочного сахара 39	<i>А. В. Терёхина, В. Н. Ярошева</i> Майонезный соус с гидролатом мяты перечной функционального назначения 111
<i>Н. Н. Типсина, Г. А. Демиденко</i> Разработка рецептур и технология получения тираженого ириса с кедровыми орехами 45	<i>Е. С. Троско, Ю. С. Гунина, О. Ю. Михайлова, Е. В. Скорospelова</i> Влияние биохимических показателей на органолептические качества натуральных яблочных соков 118
<i>Н. П. Супрун, Г. С. Гусаков, Н. Д. Лукьянов</i> Оптимизация процесса ферментализации мезги из мелкоплодного сорта яблони 50	<i>А. Н. Гуляева, М. С. Воронина</i> Эмпирическое исследование функционально-технологических свойств кукурузно-морковных экстрактов 124
<i>С. Н. Тефилова, О. А. Орловцева, Е. В. Арзамасова, М. В. Клоносов, В. В. Горбачев, И. А. Никитин</i> Разработка мягкой карамели функционального назначения 55	<i>Г. А. Купин, Т. В. Першакова, А. А. Тягушева, Е. С. Семиряжко</i> Определение оптимальных параметров предварительной обработки овощей перед сушкой электромагнитными полями крайне низких частот 129
<i>А. Д. Лебедев, Е. В. Жиркова, С. В. Колобов, С. Л. Калачев, П. И. Токарев</i> Исследование предпочтений потребителей на рынке мясных продуктов и отношения потребителей к продуктам из альтернативного сырья 61	<i>Г. О. Магомедов, Л. А. Лобосова, А. С. Бородкина</i> Влияние полуфабрикатов шиповника на сроки годности жироемких кондитерских изделий 136
<i>Ж. А. Кох, Д. А. Федченко</i> Соевая окара в производстве протеиновых батончиков 67	<i>Н. В. Щукина, Н. А. Величко, Е. Н. Аёшина</i> Новые ингредиенты в технологии вареных колбасных изделий 141
<i>Д. С. Куликов, Р. В. Уланова, А. А. Королев, А. В. Синельников, З. И. Калугина</i> Модификация белков гороховой муки с использованием нового штамма молочнокислых бактерий 72	<i>А. В. Снегирева, А. С. Рандэ</i> Использование пророщенного зерна в технологии злаковых батончиков 145

РАЗДЕЛ 2. ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАУКИ О МАТЕРИАЛАХ, МЕТАЛЛУРГИЯ

Р. Е. Крюков, А. Р. Михно, И. А. Панченко, С. В. Коновалов, С. С. Перов

Физико-механические свойства сплавов системы Al-Co-Cr-Fe-Mn и Co-Cr-Fe-Mn-Ni, полученных методом дуговой наплавки порошковой проволоки 149

Р. А. Мамадалиев

Оценка влияния многоциклового температурного воздействия на химические свойства металла сварного соединения..... 154

И. П. Худякова, А. А. Пономарева, Е. Г. Поповских

Влияние фталоциановых пигментов на свойства композиционного материала, полученным компрессионным двухстадийным химическим вспениванием..... 159

В. Н. Стрельников, А. И. Гладышев, М. В. Перепада, С. В. Ерышканов, В. Ю. Сеничев

Термическое старение полиуретановых эластомеров и расчетная оценка срока их службы при повышенных температурах 163

Д. В. Сухоруков, С. А. Ратников, А. А. Андрюшков

Обоснование возможности переработки антрацита с помощью центробежных аппаратов непрерывного действия..... 170

А. Р. Валеева

Анализ состава фракций пиролизной жидкости растительной биомассы 175

Ю. А. Тунакова, Г. Н. Габдрахманова, В. С. Валиев

Разработка фильтромаateriala на основе цеолитсодержащей породы для доочистки питьевых вод от водорастворимых форм металлов..... 181

Н. В. Гора, Д. А. Чернышёв, Г. В. Гуринович, О. В. Беляева

К вопросу о повышении качества питьевой воды и воды для пищевых производств 185

М. С. Василишин, А. Г. Карпов, О. С. Иванов, С. С. Титов, А. А. Антонникова

Исследование уноса пентаэритрита при его импульсном псевдоожижении..... 189

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

Совместное влияние базальтовых и углеродных волокон на свойства и структуру политетрафторэтилена 193

А. М. Озерова, Н. А. Данилова, О. В. Комова, В. И. Симагина, О. В. Нецкина

Водородгенирующие материалы на основе амминборана и этилендиаминбисборана: сравнение кинетики реакции гидролиза 199

М. П. Данилаев, С. А. Карандашов, В. А. Куклин, А. В. Поляев, Ю. А. Тунакова, К. В. Файзуллин

Механические свойства оснастки на основе полимерной композиции из полиуретанов с дисперсным наполнением 205

А. Е. Проценко, И. А. Люхо

Химический рециклинг стеклопластиков с термореактивной матрицей в среде сверхкритического этанола в присутствии NaOH 212

Е. Н. Еремин, Н. Кузьмин, А. С. Лосев, С. А. Бородин, И. А. Пономарёв

Влияние кремния на упрочнение и износостойкость безкобальтовой мартенситностареющей стали на никельхромовой основе 218

И. А. Осипов, А. Г. Никифоров

Модификация поверхности фотополимерной подложки для химической металлизации гибкого неинвазивного электрода 224

С. В. Морозов, Я. М. Жумаканова

Исследование свойств бетонов, армированных частицами вторично переработанных композиционных материалов..... 229

И. А. Панченко, В. К. Дробышев, С. В. Коновалов, Д. Н. Лабунский, А. Ю. Назаров

Изменение структурно-фазового состояния алюминиевого сплава 7075, после низкотемпературного азотирования 234

В. И. Мосоров, К. С. Коробков, И. Г. Сизов

Влияние энергии активации на формирование борированного слоя на углеродистых сталях 240

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

Сравнительные исследования эффективности отечественных модификаторов для стали 20ГЛ при литье по газифицируемым моделям 244

А. Р. Барсуков, Р. Н. Голых, Ж.-Б. Карра, И. А. Маняхин

Влияние ультразвуковых колебаний на формирование поверхностных возмущений барботажного пузырька в ходе принудительной аэрации при разных вязкостях жидкой фазы 252

Д. Д. Ефреюшин, Н. В. Афонина, Р. Н. Радченко

Совершенствование технологического процесса производства автомобильных камер в АО «ПО «Алтайский Шинный Комбинат» 257

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ..... 262

CONTENTS

SECTION 1. FOOD TECHNOLOGY

<i>V. V. Vostrikov, A. A. Nesterenko</i> Improving technology of obtaining chips from pork, lifetime enriched with selenium and iodine 7	<i>A. Ya. Dolzhenko</i> Impact of calcium chloride solution application during post-harvest treatment of apple fruits on maintenance of quality during storage 79
<i>D. S. Kozhemyakin, E. P. Kamenskaya</i> Optimization of sunflower husk alkaline delignification parameters 13	<i>A. A. Ryadinskaya, S. A. Chuev, E. P. Eremenko</i> Modeling of a recipe composition and evaluation of quality of boiled sausage plant-based 85
<i>I. Yu. Reznichenko, T. A. Donchenko</i> Assessment of quality and authenticity of honey by general physical and chemical indicators and content of main sugars 19	<i>M. S. Kireeva, E. V. Trukhina, E. A. Haritonova</i> Technology of a specialised muffin for people with a food allergy to chicken protein 92
<i>L. A. Ryabokoneva, L. V. Permyakova, I. Y. Sergeeva, A. S. Markov</i> Fluid extraction as a method for isolating and fractionating biologically active substances 24	<i>O. N. Musina, D. A. Usatyuk, N. I. Bondarenko</i> Fermented milk drink with triterpene-containing raw materials 98
<i>S. L. Tikhonov, N. V. Tikhonova, O. O. Babich, S. A. Sukhoi, E. B. Sysuev, D. A. Zvereva</i> A new biopeptide for dietary nutrition 31	<i>Z. N. Khatko, A. I. Blyagoz, M. K. Bogus, R. X. Blyagoz</i> Development and evaluation of quality of functional biscuits using flax seeds and various types of flour 105
<i>V. A. Shokhalov, A. I. Gnezdilova, V. N. Shokhalova</i> Crystallisation rate of lactose in milk sugar production 39	<i>A. V. Terekhina, V. N. Yarosheva</i> Mayonnaise sauce with functional pepper-mint hydrolate 111
<i>N. N. Tipsina, G. A. Demidenko</i> Formulation development and technology for producing replicated iris with pine nuts 45	<i>E. S. Trosko, Yu. S. Gunina, O. Y. Mikhailova, E. V. Skorospelova</i> Influence of biochemical parameters on organ-oleptic qualities of natural apple juices 118
<i>N. P. Suprun, G. S. Gusakova, N. D. Lukyanov</i> Optimization of enzymatic rpe-treatment of pulp from small-fruit apple variety 50	<i>A. N. Gulyaeva, M. S. Voronina</i> Empirical study of functional and technological properties of corn-carrot extrudates 124
<i>S. N. Tefikova, O. A. Orlovtsseva, E. V. Arzamasova, M. V. Klokonos, V. V. Gorbachev, I. A. Nikitin</i> Development of soft caramel for functional pur-poses 55	<i>G. A. Kupin, T. V. Pershakova, A. A. Tyagushcheva, E. S. Semiryazhko</i> Determining optimal parameters of pretreatment of vegetables before drying by electromagnetic fields of extremely low frequencies 129
<i>A. D. Lebedev, E. V. Zhirkova, S. V. Kolobov, S. L. Kalachev, P. I. Tokarev</i> Research of consumer preferences in the meat products market and consumer attitudes towards products made from alternative raw materials 61	<i>G. O. Magomedov, L. A. Lobosova, A. S. Borodkina</i> Effect of rosehip seed powder on shelf life of fat-intensive confectionery products 136
<i>Zh. A. Koch, D. A. Fedchenko</i> Soya okara in the production of protein bars 67	<i>N. V. Shchukina, N. A. Velichko, E. N. Ayoshina</i> New ingredients in technology of boiled sausages 141
<i>D. S. Kulikov, R. V. Ulanova, A. A. Korolev, A. V. Sinelnikov, Z. I. Kalugina</i> Modification of pea flour proteins using a new strain of lactic acid bacteria 72	<i>A. V. Snegireva, A. S. Rande</i> Use of germinated grain in technology of grain bars 145

SECTION 2. CHEMICAL TECHNOLOGIES, MATERIALS SCIENCES, METALLURGY

*R. E. Kryukov, A. R. Mikhno, I. A. Panchenko,
S. V. Kononov, S. S. Perov*

Physical and mechanical properties of system alloys Al-Co-Cr-Fe-Mn and Co-Cr-Fe-Mn-Ni obtained by method of arc surfacing of fox-cored wire 149

R. A. Mamadaliev

Assessment of effect of multi-cycle temperature exposure on chemical properties of metal welded joint..... 154

I. P. Khudiakova, A. A. Ponomareva, E. G. Popovskikh
Influence of phthalocyanine pigments on properties of a composite material obtained by two-stage chemical compression foaming 159

*V. N. Strelnikov, A. I. Gladyshev, M. V. Perepada,
S. V. Eryshkanov, V. Yu. Senichev*

Thermal aging of polyurethane elastomers and estimated service life at elevated temperatures 163

D. V. Sukhorukov, S. A. Ratnikov, A. A. Andryushkov
Justification of possibility of processing anthracite using continuous-acting centrifugal machines 170

A. R. Valeeva

Analysis of composition of fractions of pyrolysis liquid of plant biomass..... 175

Yu. A. Tunakova, G. N. Gabdrakhmanova, V. S. Valiev
Development of filter material based on zeolite-containing rock for additional treatment of drinking water from water-soluble forms of metals 181

*N. V. Gora, D. A. Chernyshyov, G. V. Gurinovich,
O. V. Belyaeva*

To question of improving quality of drinking water and water for food production 185

*M. S. Vasilishin, A. G. Karpov, O. S. Ivanov, S. S. Titov,
A. A. Antonnikova*

Research of pentaerithritol ablation at its pulsing fluidization 189

*A. A. Ushkanov, N. N. Lazareva, A. A. Okhlopkova,
A. P. Vasilev*

Research of influence of basalt-carbon fibers on properties of polytetrafluoroethylene..... 193

*A. M. Ozerova, N. A. Danilova, O. V. Komova,
V. I. Simagina, O. V. Netskina*

Hydrogen generating materials based on ammonia borane and ethylenediamine bisborane: comparison of hydrolysis reaction kinetics 199

M. P. Danilaev, S. A. Karandashov, V. A. Kuklin, A. V. Polyakov, Ju. A. Tunakova, K. V. Fayzullin

Mechanical properties of dispersed filler polyurethane composition..... 205

A. E. Protsenko, I. A. Lyukho

Chemical recycling of fiberglass reinforced thermosetting plastics using supercritical ethanol in presence of NaOH 212

*E. N. Eremin, N. Kuzmin, A. S. Losev, S. A. Borodikhin,
I. A. Ponomarev*

Effect of silicon on hardening and wear resistance of cobalt-free martensitic-aging nickel-chromium-based steel..... 218

I. A. Osipov, A. G. Nikiforov

Modification of surface of a photopolymer substrate for chemical metallization of a flexible noninvasive electrode 224

S. V. Morozov, Ya. M. Zhumakanova

Study of properties of concrete reinforced with particles of recycled composite materials . 229

*I. A. Panchenko, V. K. Drobyshev, S. V. Kononov,
D. N. Labunsky, A. Yu. Nazarov*

Changes in the structural-phase state of aluminum alloy 7075 after low-temperature nitriding 234

V. I. Mosorov, K. S. Korobkov, I. G. Sizov

Effect of activation energy on formation of a boron-containing layer on carbon steels 240

S. A. Gavrilov, D. A. Schafer, S. G. Ivanov, M. A. Guryev

Comparative studies of effectiveness domestic modifiers of 20GL steel of casting on gasified models 244

A. R. Barsukov, R. N. Golykh, J.-B. Carrat, I. A. Maniakhin

Influence of ultrasonic oscillations on formation of aeration bubble surface disturbances during forced aeration at different viscosities of liquid phase 252

D. D. Efryushin, N. V. Afonina, R. N. Radchenko

Improvement of technological process of car tubes production at AO "Industrial Group "Altayskiy Shinnyy Kombinat" 257

AUTHOR'S INDEX 262



РАЗДЕЛ 1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Научная статья

4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)

УДК 664.921.1

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.001



СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЧИПСОВ ИЗ СВИНИНЫ, ПРИЖИЗНЕННО ОБОГАЩЕННОЙ СЕЛЕНОМ И ЙОДОМ

Владимир Викторович Востриков¹, Антон Алексеевич Нестеренко²

^{1,2} Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия

¹ vova.vostrikov.2002@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-1127-9225>

² nesterenko-aa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1780-9466>

Аннотация. Актуальность. В настоящее время в Краснодарском крае наблюдается увеличение числа заболеваний щитовидной железы, а также наблюдается недостаток селена. Чипсы как сезонный продукт, потребление которого увеличивается в летнее время, могут быть использованы для обогащения рациона питания человека йодом и селеном. Четыре вида чипсов выработаны в производственных условиях.

Объекты и методы исследований. Свиная, прижизненно обогащенная селеном и йодом, различные приправы и наборы специй: соевый соус, нитрит натрия, паприка, мясницкая соль, мускатный орех, черный перец, соль пищевая, антиокислитель жира. В качестве основных показателей, характеризующих качество и ценность новых видов чипсов, выбраны стандартные физико-химические и органолептические, а также показатели, характеризующие пищевую ценность и микробиологические показатели.

Выводы. По результатам исследований были разработаны четыре новых технологии получения мясных чипсов высокого качества из различного сырья. Готовые мясные чипсы оказались устойчивы к окислению жира и имеют низкую активность воды, благодаря данным фактам можно предположить о длительном сроке годности полученных продуктов. Вследствие этого мясные чипсы возможно использовать в рационе военных или людей, находящихся в экспедиции в тяжелых климатических условиях, куда доставка полноценного питания затруднена. Дополнительно увеличить срок годности продукта можно благодаря использованию вакуума при упаковке.

Разработанные способы позволяют получать высокоценный продукт, затрачивая при этом меньше ресурсов на получение продукта. По окончании основной работы технологический способ производства мясных чипсов был отработан в производственных условиях.

Ключевые слова: свинина, чипсы, селен, йод, термическая обработка, низкотемпературная сушка.

Для цитирования: Востриков В. В., Нестеренко А. А. Совершенствование технологии получения чипсов из свинины, прижизненно обогащенной селеном и йодом // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 7–12. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.001. EDN: <https://elibrary.ru/KBHNOI>.

Original article

IMPROVING THE TECHNOLOGY OF OBTAINING CHIPS FROM PORK, LIFETIME ENRICHED WITH SELENIUM AND IODINE

Vladimir V. Vostrikov¹, Anton A. Nesterenko²

^{1,2} Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation

¹ vova.vostrikov.2002@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-1127-9225>

² nesterenko-aa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1780-9466>

Abstract. Relevance. Currently, there is an increase in the number of thyroid diseases in the Krasnodar Territory, as well as a lack of selenium. Chips, as a seasonal product, the consumption of which increases in the summer, can be used to enrich the human diet with iodine and selenium. Four types of chips have been developed in production conditions.

Objects and methods of research. Pork, lifetime enriched with selenium and iodine, various seasonings and

© Востриков В. В., Нестеренко А. А., 2025

spice sets: soy sauce, sodium nitrite, paprika, butcher's salt, nutmeg, black pepper, table salt, fat antioxidant. The main indicators characterizing the quality and value of new types of chips are standard physico-chemical and organoleptic, as well as indicators characterizing nutritional value and microbiological indicators.

Conclusions. According to the research results, four new technologies for producing high-quality meat chips from various raw materials have been developed. The finished meat chips turned out to be resistant to fat oxidation and have low water activity, due to these facts, it can be assumed that the products obtained have a long shelf life. As a result, meat chips can be used in the diet of the military or people on an expedition in difficult climatic conditions, where the delivery of adequate nutrition is difficult. Additionally, the shelf life of the product can be increased by using a vacuum during packaging.

The developed methods make it possible to obtain a high-value product, while spending less resources on obtaining the product. At the end of the main work, the technological method for the production of meat chips was worked out in production conditions.

Keywords: pork, chips, selenium, iodine, heat treatment, low-temperature drying.

For citation: Vostrikov, V.V., Nesterenko, A.A. (2025). Improving the technology of obtaining chips from pork, lifetime enriched with selenium and iodine. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 7-12. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.02.001. EDN: <https://elibrary.ru/MFDHGN>.

ВВЕДЕНИЕ

В Краснодарском крае, как и во всем мире, стоит вопрос дефицита йода и селена в рационе питания человека. Недостаток этих нутриентов приводит к серьезным заболеваниям щитовидной железы, печени и некоторых покровных тканей. Решением данной проблемы может являться обогащение животноводческой продукции селеном и йодом прижизненно. На рисунке 1 показана статистика заболеваний щитовидной железы.

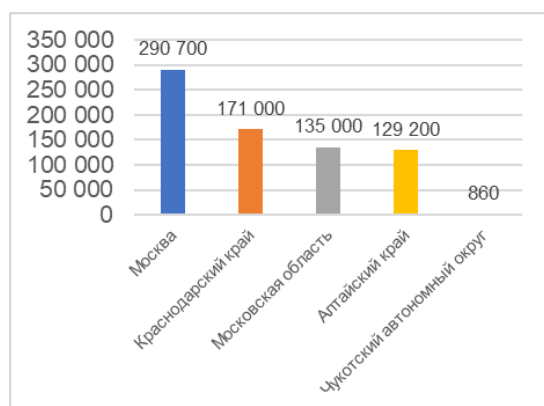


Рисунок 1 – Заболевания щитовидной железы по регионам РФ, человек

Figure 1 – Thyroid gland diseases by regions of the Russian Federation, person

Недостаток йода приводит к большому количеству заболеваний, включая кретинизм, заболевания щитовидной железы, гипотиреоз. Даже небольшой дефицит йода приводит к усталости, лени, головным болям, подавленному настроению, вызывает нервозность и сварливость, снижает интеллект и ослабляет память. Одной из наиболее важных задач, которые необходимо решить при устранении дефицита йода, является здоровое поколение людей и продолжение рода. В целом, йододефицитные заболевания являются одним из наиболее распространенных неинфекционных заболеваний. По данным ВОЗ, более 2 миллиардов человек страдают дефицитом йода [1–2]. Йод можно обнаружить в сушеных морских водорослях, чернике, треске и в других продуктах.

Одной из важных функций селена в организме является защита клеток организма от перекисного

окисления, то есть он выполняет антиоксидантную функцию. Недостаток же этого элемента в питании человека приводит к 75 различным патологиям: поражению миокарда – болезни Кешана, нарушению репродуктивной функции у мужчин, различным онкологическим заболеваниям и другим. Селен можно обнаружить в злаках, грибах, чесноке, в мясном сыре и так далее.

Исследования по обогащению кормов нутриентами для сельскохозяйственных животных набирают популярность из-за того, что связанные микроэлементы в продукте лучше усваиваются по сравнению с пищевыми добавками из этих же элементов. Стоит отметить, что данные корма также положительно влияют на здоровье самих животных.

Например, салат-латук выращивали с добавлением в почву йода в неорганической форме иодата калия и в органической форме, связанной с салициловой кислотой [3]. В результате было обнаружено, что в листьях салата-латука, выращенных с добавлением йода в почву, его накапливалось больше, чем в контрольных образцах без обогащения почвы йодом. Было обнаружено, что органический йод накапливается лучше, чем неорганический.

Население нашей страны все больше отдает предпочтение здоровому питанию с высокой пищевой ценностью, существует достаточно работ на тему создания функциональных продуктов питания [4, 5]. Потребители начали понимать, что нормальный рост и развитие детей, поддержание здоровья в любом возрасте, профилактика заболеваний зависят от качества питания [6]. При этом не стоит забывать, что для большинства потребителей также важным показателем является органолептические показатели пищевого продукта. Для получения здорового, качественного и вкусного продукта могут служить нежирные сорта свинины.

В Краснодарском крае одним из самых крупных поставщиков свинины является ОАО «Агрокомплекс». Наряду с ним в Краснодарском крае расположено более 300 средних и малых (с поголовьем свыше 200 голов) предприятий, занимающихся откормом свиней. При этом многие предприятия средней и малой производительности поставляют свою продукцию на рынки Краснодарского края. В Краснодарском крае ежегодно наблюдается сезонный спрос на мясную продукцию. В летние периоды продажа мяса увеличивается, что связано с курортным сезоном.

В Российской Федерации с каждым годом наблюдается тенденция к увеличению производства свинины.

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2025

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЧИПСОВ ИЗ СВИНИНЫ, ПРИЖИЗНЕННО ОБОГАЩЕННОЙ СЕЛЕНОМ И ЙОДОМ

По аналитическим данным, в 2022 году в России было получено 5,8 млн т свинины, что на 5 % больше, чем годом ранее [7], при этом растет производство мяса именно от агрохолдингов. Учитывая рост производства, возможность получения нежирных сортов мяса, свинина была выбрана для разработки усовершенствованной технологии получения мясных чипсов.

В настоящее время большой интерес у потребителя вызывают сухие продукты, готовые к употреблению. Как следствие, развиваются технологии получения этих самых продуктов комбинированием с различными растительными компонентами, с использованием различного мясного сырья, совершенствуются технологии сушки, резки мяса и упаковки готового продукта, вводятся инновационные идеи производства (различные функциональные добавки).

Также целью многих производств является заполнение рынка отечественной безопасной продукцией, так называемое импортозамещение. Каждый производитель старается выпускать качественный, соответствующий техническому регламенту продукт. Формирование рынка «безопасных» продуктов питания является важным этапом развития пищевой промышленности и одним из востребованных направлений для потребителя.

Цель работы: совершенствование технологии производства чипсов из свинины, прижизненно обогащенной селеном и йодом.

В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

- анализ научно-технической литературы по теме исследований;
- анализ технологии производства чипсов из мяса свинины;
- совершенствование технологии производства чипсов;
- проведение физико-химического анализа готовой продукции.

МЕТОДЫ

Объекты исследования: свинина (обычная, прижизненно обогащенная селеном и йодом), специи, применяемые в пищевой промышленности: соевый соус, нитрит натрия, паприка, мясницкая соль «ЕмКолбаски», мускатный орех (молотый), черный перец (молотый), соль пищевая, антиокислитель жира (аскорбиновая кислота).

Стоит отдельно отметить мясницкую соль «ЕмКолбаски», которая содержит именно экстракты черного перца, мускатного ореха, можжевельника и перца кубеба, это позволяет сохранить аромат этих специй в процессе термической обработки. Применение экстрактов позволяет уменьшить вероятность подгорания специй при высоких температурах.

Качественные показатели готовой продукции определяли по физико-химическим, микробиологическим и органолептическим показателям.

Во время проведенной работы были использованы методы, описанные в соответствии со стандартами [8–14].

РЕЗУЛЬТАТЫ

При совершенствовании технологии получения чипсов предложены три схемы производства.

Контрольным опытом служил российский патент 2012 года, технология которого заключается в том, что куски свинины нежирной, прижизненно обогащенной селеном и йодом, подвергают маринованию специями и пряностями в вакуумном массажере, процесс занимает не менее 30 мин. Возможна просто выдержка мясного сырья в течение суток при температуре 2 ± 2 °С. Специи пряности, используемые при мариновании: соль пищевая, нитрит натрия, сахар белый, перец черный молотый, чеснок свежий. Затем маринованные куски свинины сушат с постоянной циркуляцией воздуха без копчения в течение не менее 3 ч с постепенным повышением температуры от 30 до 75 °С до готовности. Далее куски свинины слайсируют на кусочки, охладив предварительно мясо до температуры 8 ± 4 °С [15].

Опыт 1. Свинину нежирную, прижизненно обогащенную селеном и йодом, нарезают на кусочки толщиной 5 см. Затем проводят сухой посол нарезанного мяса смесью специй, состоящей из мясницкой соли (нитритная соль, экстракты (черного перца, мускатного ореха, можжевельника, перца кубеба), сахар белый, нитрат натрия, антиокислитель жира), соли пищевой и паприки, в течение 3 дней при температуре $2 \dots 4$ °С. Посол кусочков свинины при заданных параметрах времени и температуры способствует лучшему проникновению специй в мясо и не позволяет развиваться вредной микрофлоре. Затем кусочки подсушивают при 50 °С в течение 4 часов и для равномерной циркуляции горячего воздуха со всех сторон куски их выкладывают на противень с расстоянием между ними не менее 1 см, далее мясо нарезают размером от 30 мм до 70 мм, толщиной от 0,8 мм до 1,5 мм и отправляют на досушку при 50 °С в течение 5 часов до достижения массовой доли влажности не более 18 %, далее готовый продукт упаковывают в полимерную тару под вакуумом [16].

Опыт 2. Свинину нежирную нарезают на пластины размером от 30 мм до 70 мм, толщиной от 0,8 до 1,5 мм. Затем проводят посол нарезанного мяса смесью специй в рассоле, состоящем из мясницкой соли (нитритная соль, экстракты (черного перца, мускатного ореха, можжевельника, перца кубеба), сахар белый, нитрат натрия, антиокислитель жира), соли пищевой и паприки, в течение 2 часов при температуре $0 \dots 4$ °С. Рассол должен покрывать полностью все куски свинины. После кусочки свинины выкладывают на противень с соблюдением расстояния между кусочками не менее 1 см, затем их сушат при 50 °С в течение 6 часов до достижения массовой доли влажности не более 18 %, готовый продукт упаковывают в полимерную тару под вакуумом.

На первом этапе анализировали физико-химические показатели готовой продукции. Основные результаты проведенных исследований физико-химических показателей приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-химические показатели полученных чипсов из свинины

Table 1 – Physico-chemical indicators of the obtained pork chips

Порядковый номер образца	Массовая доля влаги, %	Массовая доля белка, %	Массовая доля жира, %	Содержание йода, мг/100 г продукта	Содержание селен, мг/100 г продукта
Контроль	18,40±0,23	25,12±0,18	17,05	0,015	0,007
Опыт 1	18,41±0,21	25,23±0,20	17,14	0,075	0,026
Опыт 2	19,03±0,19	25,03±0,21	16,90	0,070	0,028

Все образцы не имели существенных различий между массовой долей влаги, белка и жира. Отличительной особенностью является содержание остаточного йода и селена в опытных и контрольной партиях. В результате действия высоких температур в контрольной партии содержание йода и селена снизилось по отношению к опытным париям на 79,80 % и 74,07 % соответственно. При температурах в пределах 50 °C потеря йода и селена составляет 31,79 % и 53,33 % соответственно, при температурах от 60 °C их потери составляют до 70–80 %, что коррелирует с полученными данными анализа остаточного йода и селена.

При разработке новых способов производства чипсов учитывалось соотношение затрат ресурсов для получения чипсов и влажностью не более 19,5 %. При анализе экономических затрат рассчитывали стоимость электроэнергии, воды, стоимость сырья и специй и затраты на оплату работы персоналу. Основные затраты – это стоимость электроэнергии и сырья. Длительный процесс сушки чипсов требует большого количества электроэнергии, причем, если загрузку термокамеры производить в полном объеме, это позволяет увеличить рентабельность производства.

Все возможные варианты чипсов проходили физико-химическую, микробиологическую и органолептическую оценку на базе НИИ биотехнологий и сертификации пищевой продукции и в Испытательном центре «Аргус». Определение органолептических показателей проводилась сотрудниками НИИ биотехнологии и сертификации пищевой продукции, имеющие соответствующие компетенции и прошедшие экспертную оценку.

Составить прогноз о сроках годности и предложить режимы хранения можно исследовав активность воды готового продукта. Известно, что большинство микрофлоры хорошо развивается при активности воды, находящейся в диапазоне от 0,90 до 0,94 [17]. Анализ активности воды в готовом продукте и устойчивость к окислению представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Активность воды и устойчивость к окислению образцов чипсов

Table 2 – Water activity and oxidation resistance of chip samples

Порядковый номер образца	Устойчивость к окислению, ч	Активность воды
Контроль	Более 60 часа	0,65
1	Более 126 часа	0,63
2	Более 122 часов	0,65

Исследование на устойчивость к окислению проводилось при температуре 90 °C и давлении 6 бар.

По результатам определения активности воды можно сделать вывод, что на чипсах возможно развитие только осмофильных дрожжей, а развитие таких микроорганизмов, как грамотрицательных палочек, большинства кокков и лактобацилл, большинства дрожжей, плесеней, галофильных бактерий и ксерофильных плесеней в идеале, не учитывая другие факторы, не наблюдается [18].

Также можно говорить о высокой устойчивости чипсов к окислению, так как, например, в среднем смесь соевого и подсолнечного масла имеет индукционный период 14,8 часов, майонез – 18,4, миндаль – 42,8, когда как чипсы – в среднем более 180 часов, что сопоставимо хранению при температуре 20 °C в течение ~ 358 дней под вакуумом. При этом контрольный образец не имел высокой устойчивости к окислению жиров. Мы считаем, что это результат действия высоких температур, который сказался на итоговой устойчивости к окислению. При действии высоких температур продолжительное время окислительные процессы начинаются на этапе термической обработки. Предположительный срок годности контрольного продукта при температуре 20 °C составил ~ 212 дней.

Последним из интересующих аспектов готового продукта являлась его органолептическая оценка, которая у всех вариантов оказалась на высоком уровне. Результаты оценки на базе НИИ Биотехнологий и сертификации пищевой продукции представлены на рисунке 2.

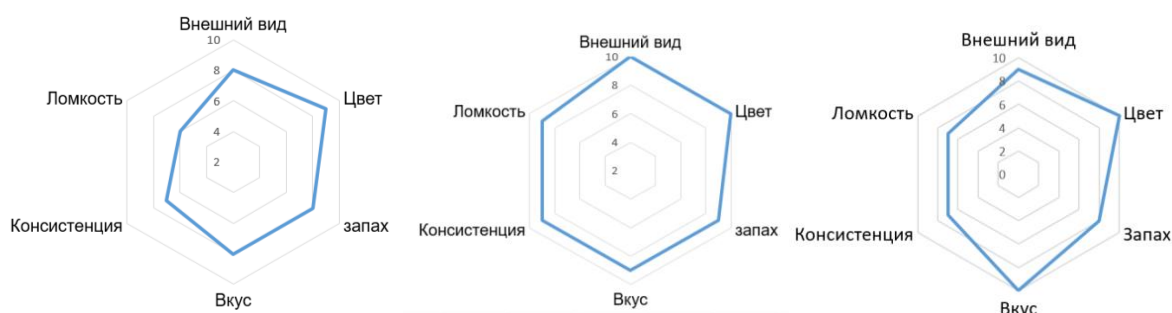


Рисунок 2 – Органолептическая оценка образцов (контроль, образец № 1, образец № 2)

Figure 2 – Organoleptic evaluation of samples (control, sample № 1, sample № 2)

Опытные образцы по сравнению с контрольным имеют следующие отличительные свойства:

- предварительная подсушка мясного сырья с дальнейшей его нарезкой позволяет ускорить процесс выкладки на противни с сохранением целостности и формы продукта;
- при первом подсушивании куски мяса размером 5 см выкладывают на противень с расстоянием между кусками не менее 1 см, что обеспечивает рав-

номерную циркуляцию воздуха со всех сторон куска и эффективную сушку продукта;

- двухстадийное подсушивание дает возможность влаге перераспределиться по всему куску и не допускать зоны подсыхания на поверхности, что облегчает и ускоряет процесс сушки продукта;
- чипсы из свинины, изготовленные по заявляемому способу, имеют более длительный срок хранения, благодаря использованию вакуума при упаковке.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЧИПСОВ ИЗ СВИНИНЫ, ПРИЖИЗНЕННО ОБОГАЩЕННОЙ СЕЛЕНОМ И ЙОДОМ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Снижение температуры сушки чипсов обеспечивает сохранение йода и селена до 68,21 % и 46,67 % соответственно от первоначального содержания. В опытных образцах количество остаточного йода ~ 0,072 мг, селена ~ 0,027 мг к массе 100 г готового продукта, что обеспечивает от 42,9 % до 48,0 % от суточной потребности человека. В соответствии с этим чипсы по предложенной технологии можно рекомендовать как функциональный продукт.

Контрольный образец в результате высоких температур имел разницу в содержании йода и селена между мясным сырьем и готовой продукцией в среднем 80,4 %, количество остаточного йода 0,015 мг, селена 0,007 мг к массе 100 г готового продукта.

Результаты исследования активности воды и устойчивости окисления жиров свидетельствуют о более длительном сроке хранения продукта по предлагаемой технологии. Срок хранения при 20 °С составляет ~ 358 дней у опытной партии и ~ 212 дней у контрольной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукин Д.Е., Утянов Д.А., Милушев Р.К., Вострикова Н.Л., Князева А.С. Влияние органически связанного йода в кормах крупного рогатого скота на показатели здоровья. Теория и практика переработки мяса. 2023;8(1):26-33. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2023-8-1-26-33>.
2. Редакционный. (2008). Дефицит йода – путь еще не пройден. (2008). The Lancet, 372(9633), 88. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(08\)61009-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(08)61009-0).
3. Смолен С., Ковальска И., Скочилас Л., Табашевская М., Питала Дж., Мрожек Дж. [и др.]. (2022). Эффективность обогащения салата йодом с использованием 5-йодсалициловой и 3,5-дийодсалициловой кислот и химический состав растений в зависимости от типа почвы в горшечном эксперименте. Пищевая химия, 382, артикул 132347. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132347>.
4. Дежatkina С.В., Феоктистова Н.А., Шаронина Н.В., Исaичев В.А., Дежatkин М.Е., Григорьев В.С. Пути повышения качества продукции животноводства за счет скармливания натуральной БУМВД. Аграрная наука. 2022;(2):37-42. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-356-2-37-42>.
5. Кухаренко А.А., Богатырев А.Н., Короткий В.М., Дадашев М.Н. Научные принципы обогащения пищевых продуктов микронутриентами. Пищевая промышленность. 2008; 5:62–66.
6. Тихомирова Н.А., Бакулина О.Н. Пищевые ингредиенты: полезное новое. Пищевые ингредиенты. Сырье и добавки. 2002; 1: 56–57.
7. Свинина получила гандикап: Электрон. ресурс // РБК. URL: <https://www.rbc.ru/newspaper/2023/02/14/63ea294d9a79471fe72ea2d71>.
8. ГОСТ 9793-2016 «Мясо и мясные продукты. Методы определения влаги». Москва : Стандартинформ, 2018. 5 с.
9. ГОСТ 25011-2017. «Мясо и мясные продукты. Методы определения белка». Москва : Стандартинформ, 2018. 13 с.
10. ГОСТ 23042-2015 ГОСТ 23042-2015 «Мясо и мясные продукты. Методы определения жира». Москва : Стандартинформ, 2017. 8 с.
11. ГОСТ ISO 21807-2015. «Микробиология пищевой продукции и кормов». Москва : Стандартинформ, 2017. 8 с.
12. ГОСТ 34815-2021 «Продукты пищевые.

Ускоренный тест на окисление с использованием окислительного испытательного реактора». Москва : Российский институт стандартизации, 2022. 11 с.

13. ГОСТ 9959-2015 «Мясо и мясные продукты. Общие условия проведения органолептической оценки». Москва : Стандартинформ, 2017. 10 с.

14. ГОСТ Р 54354-2011 «Мясо и мясные продукты. Общие требования и методы микробиологического анализа». Москва : Стандартинформ, 2013. 36 с.

15. Пат. 2470529 Российская Федерация, МПК А23L 1/31. Способ изготовления мясных снеков (варианты) / М.Ф. Хайруллин ; заявитель и патентообладатель ЮУрГУ. № 2011128150/13 ; заявл. 07.07.11 ; 27.12.12, Бюл. № 36.

16. Патент № 2814616 С1 Российская Федерация, МПК А23L 13/40, А23В 4/03. Способ получения чипсов из свинины : № 2023106896 : заявл. 22.03.2023 : опубл. 01.03.2024 / В.В. Востриков, А.А. Нестеренко, Н.Н. Забашта, Н.В. Кенийз ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина". EDN EGVGGZ.

17. Галкин А.В. Об измерении активности воды мяса и мясных продуктов / А.В. Галкин, Е. Трепалина // Мясной ряд, 2017. № 4 (70), с. 38.

18. Контроль роста микроорганизмов с помощью показателей активности воды и pH : Электрон. ресурс // Decagon Devices. URL: <https://decagon.ru/aw/aw-and-ph/>.

Информация об авторах

В. В. Востриков – студент 4 курса бакалавриата. Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина.

А. А. Нестеренко – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии хранения и переработки животноводческой продукции. Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина.

REFERENCES

1. Lukin, D.E., Utyanov, D.A., Milushev, R.K., Vostrikova, N.L., Knyazeva, A.S. Vliyaniye organicheski svyazannogo yoda v kormakh krupnogorogatogo skota na pokazateli zdorov'ya [The effect of organical lybo und iodine in cattle feed on health indicators]. Theory and practice of meat processing. 2023;8(1):26-33. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2023-8-1-26-33>.
2. Editorial. (2008). Defitsit yoda - put' eshche ne proyden [Iodine deficiency - the path has not yet been passed]. (2008). The Lancet, 372(9633), 88. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(08\)61009-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(08)61009-0).
3. Smolen, S., Kovalska, I., Skochilas, L., Tabashevskaya, M., Pitala, J., Mrozek, J. [et al.]. (2022). Effektivnost' obogashcheniya salata yodom s ispol'zovaniyem 5-yodsalitsilovoy i 3,5-diyodsalitsilovoy kislot i khimicheskiy sostav rasteniy v zavisimosti ot tipa pochvy v gorshechnom eksperimente. [The effectiveness of enriching lettuce with iodine using 5-iodosalicylic and 3,5-diiodosalicylic acids and the chemical composition of plants depending on the type of soil in the potting experiment]. Food chemistry, 382, article 132347. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132347>.
4. Dezhatkina, S.V., Feoktistova, N.A., Sharonina, N.V., Isaichev, V.A., Dezhatkin, M.E., Grigoriev, V.S. Puti povysheniya kachestva produktii zhivotnovodstva za schet skarmlivaniya natural'noy BUMVD [Ways to

improve the quality of livestock products by feeding natural BUMVD]. Agricultural science. 2022;(2):37-42. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-356-2-37-42>.

5. Kukharenyko, A.A., Bogatyrev, A.N., Korotky, V.M., Dadashev, M.N. Nauchnyye printsipy obogashcheniya pishchevykh produktov mikronutrientami [Scientific principles of micronutrient fortification of food products]. Food industry. 2008; 5:62-66.

6. Tikhomirova, N.A., Bakulina, O.N. Pishchevyye ingredienty: poleznoye novoye. [Food ingredients: useful new. Food ingredients. Raw materials and additives]. 2002; 1: 56-57.

7. Svinina poluchila gandikap. [Pork got a handicap]: electron. resource // RBC. URL: <https://www.rbc.ru/newspaper/2023/02/14/63ea294d9a79471fe72ea2d7/>.

8. Meat and meat products. Methods for determining moisture. (2018). GOST 9793-2016. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).

9. Meat and meat products. Methods of protein determination. (2018). GOST 25011-2017. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).

10. Meat and meat products. Methods for determining fat. (2017). GOST 23042-2015 GOST 23042-2015. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).

11. Microbiology of food products and feed. (2017). GOST ISO 21807-2015. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).

12. Food products. Accelerated oxidation test using an oxidative test reactor. (2022). GOST 34815-2021. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).

13. Meat and meat products. General conditions for conducting an organoleptic assessment. (2017). GOST 9959-2015. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).

14. Meat and meat products. General requirements and methods of microbiological analysis. (2013). GOST R

54354-2011. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).

15. Pat. 2470529 Russian Federation, IPC A23L 1/31. Sposob izgotovleniya myasnykh snekov (varianty) [Method of making meat snacks (variants)] / M.F. Khairullin; applicant and patent holder of SUSU. No. 2011128150/13 ; application 07.07.11 ; 27.12.12, Byul. No. 36.

16. Patent 2814616 C1 Russian Federation, IPC A23L 13/40, A23B 4/03. Sposob polucheniya chipsov iz svininy [Method of obtaining pork chips]: No. 2023106896 : application. 03/22/2023 : publ. 03/01/2024 / V.V. Vostrikov, A.A. Nesterenko, N.N. Zabashta, N.V. Keniz ; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin". EDN EGVGGZ.

17. Galkin, A.V. Ob izmerenii aktivnosti vody myasa i myasnykh produktov [On measuring the water activity of meat and meat products] / A.V. Galkin, E. Trepalina // Meat row, 2017. No. 4 (70). p. 38.

18. Kontrol' rosta mikroorganizmov s pomoshch'yu pokazateley aktivnosti vody i pH [Control of the growth of microorganisms using indicators of water activity and pH]: electron. resource // Decagon Devices. URL: <https://decagon.ru/aw/aw-and-ph/>.

Information about the authors

V.V. Vostrikov - is a 4th year student of the Bachelor's degree. Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin.

A.A. Nesterenko - candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technology of Storage and Processing of Animal products. Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 07 июня 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 07 June 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 636.087.25

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.002



ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЩЕЛОЧНОЙ ДЕЛИГНИФИКАЦИИ ПОДСОЛНЕЧНОЙ ЛУЗГИ

Денис Сергеевич Кожемякин ¹, Елена Петровна Каменская ²

^{1,2} Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

¹ denkzm1998@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-4051-569X>

² ekam2007@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3760-6914>

Аннотация. Исследование посвящено оптимизации параметров щелочной делигнификации подсолнечной лузги, полученной на стадии обрушивания семян при подготовке сырья к извлечению масла. Анализ химического состава подсолнечной лузги выявил значительное содержание лигнина – 26,7 %. В ходе эксперимента изучены различные факторы, влияющие на процесс делигнификации: концентрация гидроокиси натрия (от 1 % до 5 %), размер частиц подсолнечной лузги, температура (20–100 °C), продолжительность обработки (30–90 минут). Установлено, что максимальный выход фракции частиц лузги размером менее 3 мм – 94,30 % достигается при оптимальной продолжительности измельчения подсолнечной лузги в течение 20 с на лабораторной мельнице ЛЦМ-1М. Показано, что при увеличении размеров частиц более 3 мм концентрация щелочных растворов не оказывает влияния на степень делигнификации. В процессе оптимизации параметров щелочной делигнификации установлено, что наиболее эффективным режимом является обработка подсолнечной лузги с размером частиц менее 3-х мм 5 %-ным раствором гидроокиси натрия при температуре 80 °C в течение 60 минут. Данные условия позволяют добиться не только высокой степени делигнификации (97 %) лузги, но и сохранить значительную часть клетчатки – 22,84 %. Результаты проведенных экспериментов представляют научный интерес в дальнейшей работе по использованию делигнифицированной лузги в качестве субстрата для ферментализации, позволяющие получить гидролизаты с высоким выходом сбраживаемых сахаров.

Ключевые слова: вторичные сырьевые ресурсы, клетчатка, лигнин, подсолнечная лузга, щелочная делигнификация.

Для цитирования: Кожемякин Д. С., Каменская Е. П. Оптимизация параметров щелочной делигнификации подсолнечной лузги // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 13–18. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.002. EDN: <https://elibrary.ru/GSZLXT>.

Original article

OPTIMIZATION OF SUNFLOWER HUSKALKALINE DELIGNIFICATION PARAMETERS

Denis S. Kozhemyakin ¹, Elena P. Kamenskaya ²

^{1,2} Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

¹ denkzm1998@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-4051-569X>

² ekam2007@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3760-6914>

Abstract. The study is focused on optimizing alkaline delignification parameters for sunflower husks obtained during the seed hulling stage of preparing the raw material for oil extraction. Analysis of the sunflower husk chemical composition showed significant lignin levels (26.7 %). During the experiment, various factors which influence the delignification process, namely sodium hydroxide concentration (1 % to 5 %), sunflower husk particle size, temperature (20–100 °C) and processing time (30 to 90 minutes) were studied. It was observed that the maximum fraction output of husk particles less than 3 mm in size amounted to 94.30% and was reached with the optimal sunflower husk milling time of 20 s using the ЛЦМ-1М experimental mill. It was demonstrated that alkaline solution concentration did not influence the degree of delignification when particle size exceeded 3 mm. While

© Кожемякин Д. С., Каменская Е. П., 2025

optimizing the alkaline delignification parameters, the most effective mode was determined to be the treatment of sunflower husks with particle size less than 3 mm with a 5 % sodium hydroxide solution at 80 °C for 60 minutes. These conditions provide for both a high husk delignification degree (97 %) and conservation of a significant part of the fiber retained (22,84 %). The experimental findings are of scientific interest for further work involving the use of delignified husks as a medium for enzymolysis, which produces hydrolizates with a high output of fermented sugars.

Keywords: recyclable raw materials, fiber, lignin, sunflower husks, alkaline delignification.

For citation: Kozhemyakin, D.S. & Kamenskaya, E.P. (2025). Optimization of sunflower husk alkaline delignification parameters. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 13-18. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.002. EDN: <https://elibrary.ru/GSZLXT>.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время существует тенденция увеличения мирового спроса на продукты переработки семян подсолнечника, поэтому его посевные площади ежегодно увеличиваются, а валовый сбор семян растёт. Российская Федерация является одной из стран-лидеров по объемам выращивания и переработки семян подсолнечника. Так, в 2024 году подсолнечник подтвердил статус маргинальных культур в России. По данным Росстата, в 2024 году валовой сбор семян подсолнечника в РФ составил 16,5 млн тонн, что привело к накоплению до 2,3–4,0 млн тонн лузги. Стоит также отметить, что за последние 10 лет сборы семян подсолнечника увеличились на 95,4 % (на 8 093,4 тыс. тонн).

Главной масличной культурой в нашей стране является подсолнечник однолетний (*Helianthus annuus* L.), основная масса которого поступает на маслоэкстракционные предприятия. Так, по данным Росстата, в 2024 году было произведено около 8 млн тонн подсолнечного масла, что на 11,7 % выше показателя 2023 года.

При этом на маслоэкстракционных предприятиях существует проблема накопления большого количества отходов подсолнечного производства из-за отсутствия эффективных технологий их переработки и утилизации. В процессе получения масла как пресовым, так и экстракционным способом образуется большое количество вторичного сырья и отходов, таких как подсолнечный жмых, шрот, лузга, требующих своевременной реализации, переработки и/или утилизации. Шрот и жмых представляют собой сырьё с повышенным содержанием белка, в связи с чем активно применяются в кормлении сельскохозяйственных животных. В отличие от жмыха и шрота лузга характеризуется практически полным отсутствием протеина и высоким содержанием клетчатки, которая снижает эффективность её применения в кормовых целях [1, 2].

Лузга подсолнечника является крупнотоннажным источником вторичного сырья, её выход зависит от технологии переработки масла и от сорта подсолнечника, например, при экстракционном способе обрушивается примерно 14–25 кг лузги с каждых 100 кг семян [3].

В настоящее время существует множество промышленных направлений переработки лузги подсолнечника [4–7], которые, однако, не позволяют полностью переработать этот ценный ресурс растительного происхождения в экономически выгодные продукты, что приводит к её накоплению. С экономической точки зрения вывоз лузги на мусорные полигоны нецелесообразен, поскольку сопряжен с определенными затратами, влияющими на себестоимость готовой продукции [1]. С точки зрения экологии вывоз на полигоны также нерационален, поскольку данные отходы относятся к четвертому и пятому классам опасности. Складирование подсолнечной лузги также сопряжено с выделением тепла при хранении и опасностью её возгорания. Лузжистость

семян подсолнечника в зависимости от сортовых особенностей колеблется в пределах 22,5–30,0 %, что вкупе с низкой объемной массой требует наличия больших площадей для хранения, а также обуславливает сложности, возникающие при её транспортировке [8]. Данный вопрос легко решается путем сжигания лузги в печах котельных маслоэкстракционных предприятий. Однако стоит учитывать, что такой способ утилизации сопровождается выбросами значительного количества диоксида углерода в атмосферу, а также требует наличия оборудования для предварительного уплотнения подсолнечной лузги [8, 9].

Подсолнечная лузга содержит значительное количество лигнина, целлюлозы, гемицеллюлозы, она является ценным сырьём для получения кормовых дрожжей, ацетона, биогаза, кормовых добавок, удобрений и других продуктов [8, 10–13]. Один из наиболее часто применяемых способов биологической конверсии лузги – использование в качестве мелиоранта почв или мульчи под различные овощные культуры. Кроме того, лузга применяется при выращивании базидиомицетов, таких как вешенка обыкновенная (*Pleurotus ostreatus*) и шампиньон двуспоровый (*Agaricus bisporus*) [9].

Поскольку подсолнечная лузга характеризуется высоким содержанием клетчатки – 52,0–66,0 %, а на целлюлозу приходится 31,0–42,4 %, это делает её перспективным сырьём для применения в гидролизной промышленности. Полученные гидролизаты используются, например, для производства гидролизного спирта фурфурола или в качестве субстрата для культивирования микроорганизмов [8, 12, 13].

Среди всех известных методов гидролиза следует особо выделить ферментативный, так как ферменты за счет своего целенаправленного воздействия на определенные компоненты лузги, могут обеспечивать максимальную деструкцию клетчатки. Однако имеются негативные факторы, оказывающие значительное влияние на ферментацию, к ним относится высокое содержание лигнина в сырье – 24,8–29,6 % [8, 14].

Лигнин – сложный природный полимер, входящий в состав почти всех наземных растений, составляющий около 30 % органического углерода в биосфере и являющийся вторым по распространенности биополимером лигноцеллюлозной биомассы после целлюлозы. Его наличие может оказывать весомое влияние на активность ферментов и ферментных препаратов (ФП), например, ингибировать целлюлолитические ФП и, как следствие, приводить к снижению выхода целевых компонентов, получаемых в процессе гидролиза. В связи с этим требуется проведение предварительной обработки сырья – делигнификации. Для этой цели наилучшим образом подходит щелочной способ, так как имеет ряд преимуществ. В первую очередь это связано с тем, что щелочные растворы в отличие от кислот или влаго-

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЩЕЛОЧНОЙ ДЕЛИГНИФИКАЦИИ ПОДСОЛНЕЧНОЙ ЛУЗГИ

тепловой обработки обеспечивают максимальную эффективность удаления лигнина при минимальной деструкции целлюлозы. Объясняется данный эффект разрывом эфирных связей в лигнине, а также отщеплением и переходом в раствор части фенилпропановых звеньев под воздействием щелочей. Кроме того, к достоинствам можно отнести простоту способа и дешевизну реактивов [15, 16]. Известно также, что делигнификация лузги в присутствии 1 %-го раствора NaOH с последующей ферментативной обработкой позволяет получить гидролизат с высоким содержанием редуцирующих веществ [15, 17].

В связи с этим, с целью повышения активности ферментных препаратов в процессе ферментализации подсолнечной лузги актуальным направлением исследований в области переработки растительного сырья является поиск новых способов и условий щелочной делигнификации.

Цель данного исследования – оптимизация параметров щелочной делигнификации подсолнечной лузги, обеспечивающих максимальную степень удаления лигнина из сырья.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для экспериментальных исследований использовали лузгу, отобранную в процессе обрушивания семян подсолнечника при подготовке сырья к извлечению масла на Барнаульском маслоэкстракционном заводе (БМЭЗ, г. Барнаул). Опытная лузга имела следующие характеристики: влажность – 9,91 %; массовая доля сырого жира – 4,3 % (абс. сухое вещество); массовая доля сырой клетчатки – 54,78 % (абс. сухое вещество); массовая доля сырого протеина – 2,15 % (абс. сухое вещество); массовая доля лигнина – 26,70 % (абс. сухое вещество).

Нативная подсолнечная лузга состояла из трех фракций, имеющих размеры: более 6 мм (66,9 %); от 3 до 6 мм (23,0 %); менее 3 мм (10,1 %). Размол лузги осуществляли на лабораторной мельнице ЛЦМ-1М. Для проведения щелочной делигнификации лузгу смешивали с водными растворами NaOH различных

концентраций (1–5 %) в соотношении 1:9. Полученные суспензии настаивали на водяной бане при различных температурах в диапазоне от 20 °C до 100 °C в течение 30, 60 и 90 минут, после чего осуществляли отделение твердой части от растворенных компонентов.

Для выполнения задач исследования были определены следующие физико-химические показатели:

- массовая доля влаги путем высушивания до постоянной массы;
- массовая доля сырой клетчатки путем последовательной обработки лузги кислотными и щелочными растворами с последующим озолением и количественным определением органического остатка весовым методом;
- массовая доля сырого протеина методом Кьельдаля;
- массовая доля сырого жира методом ядерного магнитного резонанса (ЯМР);
- массовая доля лигнина, определяемая при помощи 72 %-ой серной кислоты в модификации Комарова;
- степень делигнификации рассчитывали как отношение массы удаленного лигнина к массе лигнина в исходном сырье;
- фракционный состав определялся при помощи системы сит.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для осуществления процесса щелочной делигнификации применялись растворы NaOH с концентрациями от 1 % до 5 %. С целью предварительной оценки образцы лузги трех фракций, имеющие разный размер частиц, подвергали щелочной делигнификации на водяной бане при температуре 80 °C в течение одного часа. Зависимость степени щелочной делигнификации от концентрации NaOH и размера частиц приведена на рисунке 1.

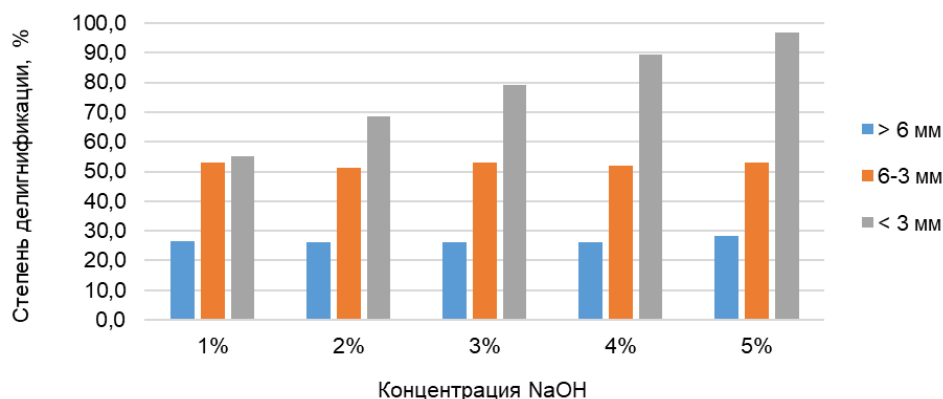


Рисунок 1 – Зависимость степени щелочной делигнификации от размера частиц и концентрации NaOH

Figure 1 – Variation in the degree of alkaline delignification with respect to particle size and NaOH concentration

Согласно данным, представленным на рисунке 1, в образцах с размером частиц менее 3 мм, степень делигнификации возрастает с увеличением концентрации раствора NaOH и достигает максимального результата – 97,0 % при использовании 5 %-го раствора щелочи. При увеличении размеров частиц более 3 мм концентрация щелочных растворов не ока-

зывает влияния на степень делигнификации. В образцах лузги с размером частиц от 3 до 6 мм степень делигнификации составила в среднем 52 %, а в образцах с размером частиц более 6 мм – 27 %. Связать это можно с тем, что подсолнечная лузга имеет низкую насыпную плотность, которая увеличивается при уменьшении размеров частиц.

Для увеличения количества частиц, фракционного состава менее 3-х мм на следующем этапе была проведена оптимизация продолжительности процесса измельчения. Подсолнечную лузгу измельчали в

течение 1–20 с, с последующим определением фракционного состава. Результаты фракционного состава лузги при различной продолжительности измельчения представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Фракционный состав измельченной подсолнечной лузги

Table 1 – Fractional makeup of the milled sunflower husks

Продолжительность измельчения, с	Размер частиц, мм		
	>6 мм	3–6 мм	< 3 мм
	Содержание частиц, %		
1	32,50	57,35	10,15
5	10,40	25,60	64,00
10	6,10	16,60	77,30
15	0,80	10,30	88,90
20	0,00	5,70	94,30

По данным таблицы 1 видно, что, лучший результат достигается при измельчении подсолнечной лузги в течение двадцати секунд, что обеспечивает получение 94,30 % частиц размером менее 3-х мм. Дальнейшее измельчение нецелесообразно, так как приводит к образованию большого количества масляной пыли.

На следующем этапе исследования было изучено влияние температуры и продолжительности

процесса на эффективность делигнификации. Подсолнечную лузгу с размером частиц менее 3-х мм смешивали при гидромодуле 1:9 с оптимальной концентрацией NaOH – 5 %-ым раствором и настаивали на водяной бане в течение 30, 60 и 90 минут при диапазоне температур от 20 °С до 100 °С. Зависимость степени делигнификации от температуры и продолжительности процесса представлена на рисунке 2.

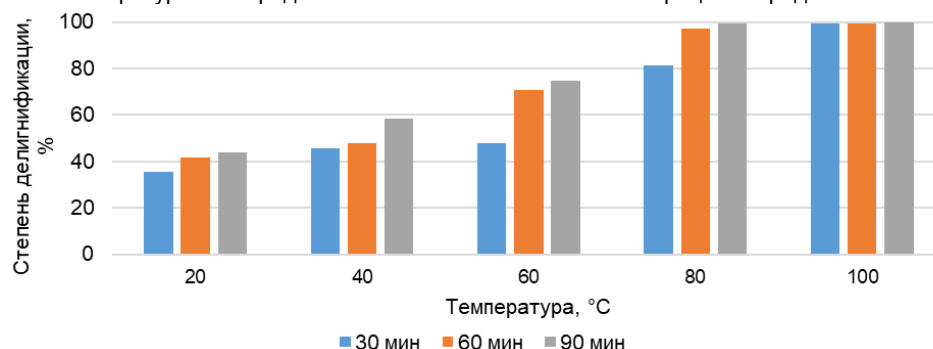


Рисунок 2 – Зависимость степени делигнификации от температуры и продолжительности процесса

Figure 2 – Variation in the degree of delignification with respect to temperature and processing time

Результаты исследований, приведенные на рисунке 2, показали прямопропорциональную зависимость степени делигнификации от температуры, а именно: с увеличением температуры данный показатель непрерывно возрастал. Кроме того, увеличение продолжительности нагрева позволяет интенсифицировать данный процесс, например, при температуре 80 °С степень делигнификации достигает 97,0 % за 60 минут, а при 100 °С – 99,24 % за 30 минут.

Несмотря на высокую эффективность, нельзя не учитывать влияние данных параметров на другие составляющие подсолнечной лузги. Известно, что при воздействии высоких температур вследствие щелочной

обработки возможна как полная, так и частичная деструкция таких компонентов, как клетчатка, сырой протеин, массовая доля сырого жира, золы и др. Особую важность представляет содержание основного компонента частиц лузги – клетчатки, состоящей из целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина. Причем содержание лигнина в клетчатке достигает до 30 %. Для оценки этого влияния на заключительном этапе был осуществлен анализ отобранных образцов и сравнение их состава с исходной подсолнечной лузгой без делигнификации (контроля). Результаты сравнения представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-химический состав образцов подсолнечной лузги

Table 2 – Physico-chemical composition of sunflower husk samples

Наименование показателя	Контроль	Условия делигнификации	
		80 °С, 60 мин	100 °С, 30 мин
Массовая доля гигроскопической влаги, %	7,22 ± 1,28	7,12 ± 1,24	12,93 ± 1,57
Массовая доля сырой клетчатки, % (а.с.в.)	54,78 ± 3,66	22,84 ± 2,06	7,64 ± 1,30
Массовая доля лигнина, % (а.с.в.)	26,70 ± 2,26	0,80 ± 0,28	0,20 ± 0,17
Массовая доля сырого жира, % (а.с.в.)	4,30 ± 1,14	0,02 ± 0,01	0,01 ± 0,01
Массовая доля сырой золы, % (а.с.в.)	1,26 ± 0,98	1,35 ± 0,99	1,10 ± 0,98
Массовая доля сырого протеина % (а.с.в.)	2,15 ± 1,03	1,02 ± 0,49	1,00 ± 0,47

Согласно результатам, представленным в таблице 2, использование режима щелочной делигнификации при температуре 100 ° в течение 30 минут позволяет значительно сократить количество лигнина до 0,2 %, а режима (80 °С, 60 минут) – до 0,8 %. Проведение щелочной предобработки в обоих случаях приводит к сокращению массовой доли сырого жира и сырого протеина. Следует отметить, что условия (100 °С, 30 минут) проведения делигнификации существенно влияют на показатель массовой доли сырой клетчатки, содержание которой сократилось в 7 раз по сравнению с контролем и в дальнейшем может привести к понижению выхода редуцирующих веществ при проведении гидролиза. Щелочная делигнификация при температуре 80 °С не только способствует практически полному удалению лигнина, но также обеспечивает достаточно высокую сохранность клетчатки – 22,84 %.

ВЫВОДЫ

В ходе проведенного исследования установлена оптимальная продолжительность измельчения подсолнечной лузги – 20 с на лабораторной мельнице ЛЦМ-1М для увеличения фракции частиц лузги размером менее 3 мм до 94,30 %.

Показано, что при увеличении размеров частиц более 3 мм концентрация щелочных растворов не оказывает влияния на степень делигнификации.

В процессе оптимизации параметров щелочной делигнификации подсолнечной лузги было установлено, что наилучший результат достигается при использовании 5 %-го раствора гидроокиси натрия, температурном режиме 80 °С и продолжительности процесса 60 минут. Данные условия позволяют добиться не только высокой степени делигнификации (97 %), но и сохранить значительную часть клетчатки – 22,84 %.

Результаты проведенных экспериментов представляют научный интерес в дальнейшей работе по использованию делигнифицированной лузги в качестве субстрата для ферментализации, позволяющие получить гидролизаты с высоким выходом сбраживаемых сахаров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Заика К.А., Вагапова М.Н., Рожков Н.Н. Перспективы использования отходов маслоэкстракционного производства на основе вторичной переработки лузги подсолнечника // Безопасность городской среды: Материалы VIII Международной научно-практической конференции. Омск. 2021. С. 88–92.
2. Тунцев Д.В., Харьков В.В., Кузнецов М.Г. Переработка лузги подсолнечника в угольные брикеты высокой прочности // Вестник Казанского ГАУ. 2019. № 4(56). С. 86–90.
3. Харьков В.В., Тунцев Д.В., Кузнецов М.Г. Термохимическая переработка лузги подсолнечника // Вестник Казанского ГАУ. 2018. № 4(51). С. 130–134.
4. Osman N.S. Sunflower shell waste as an alternative animal feed / N.S. Osman [et al.] // Materials Today: Proceedings, 2018. Vol. 5. № 10. P. 21905–21910.
5. Кузнецов М.Г. Математическое моделирование конической установки для мокрого измельчения / М.Г. Кузнецов, В.В. Харьков, Н.З. Дубкова // Вестник технологического университета, 2016. Т. 19. № 20. С. 164–166.
6. Технологические приемы биоконверсии лузги

подсолнечника / С.А. Сашенкова, Г.В. Ильина, Д.Ю. Ильин, А.Р. Дашкина // Нива Поволжья, 2020. № 2. С. 52–57.

7. Исламова С.И., Добрынин А.Б. Переработка подсолнечной лузги методом окислительной торрефикации // Химия растительного сырья, 2022. № 1. С. 325–334.

8. Хусид С.Б., Гнеуш А.Н., Нестеренко Е.Е. Подсолнечная лузга как источник получения функциональных кормовых добавок // Научный журнал КубГАУ, 2015. № 107(03). С. 142–155.

9. Сашенкова С.А., Ильина Г.В., Ильин Д.Ю., Дашкина А.Р. Технологические приемы каскадной биоконверсии лузги подсолнечника // Нива Поволжья. 2020. № 2(55). С. 52–57.

10. Robertiello A. Sunflower hulls as a component of feeds // Agricultural Wastes, 1984. V. 10. P. 257–266.

11. Коротков В.Г., Кишкилев С.В., Соловых С.Ю., Антимонов С.В. Получение кормовых экструдатов на основе подсолнечной лузги // Технические науки – от теории к практике. 2013. № 18. С. 124–131.

12. Демина Д.М. Ферментативный гидролиз подсолнечной лузги // Наука и молодежь : Материалы XXI Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Барнаул, 2024. С. 401–403.

13. Ахмедзянова Р.Р., Валеева Р.Т., Тунцев Д.В. Ферментативный гидролиз подсолнечной лузги // Инновационный взгляд развития общества: взгляд молодых ученых : Сборник научных статей 4-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок. Курск, 2023. С. 257–259.

14. Кожемякин Д.С., Каменская Е.П. Анализ вторичной продукции переработки семян подсолнечника // Холодильная техника, инженерные системы и биотехнологии : Сборник тезисов VI Национальной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Кемерово, 7 ноября 2024 года. С. 148–149.

15. Вистовская В.П., Кожемякин Д.С., Каменская Е.П. Оптимизация параметров ферментализации подсолнечной лузги с использованием методов математического моделирования // Ползуновский вестник. 2025. № 1. С. 103–109.

16. Стокозенко В.Г., Неманова Ю.В., Губина С.М. Влияние щелочно-восстановительных и щелочно-окислительных систем на растворимость лигнина пеньки // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2007. № 5(301). С. 35–38.

17. Вистовская В.П., Демина Д.М. Культивирование дрожжевых грибов на гидролизатах подсолнечной лузги // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: Материалы XVII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. Бийск, 2024. С. 235–240.

Информация об авторах

Д. С. Кожемякин – аспирант кафедры технологии бродильных производств и виноделия Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

Е. П. Каменская – кандидат биологических наук, доцент кафедры технологии бродильных производств и виноделия Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

REFERENCES

1. Zaika, K.A., Vagapova, M.N., Rozhkov, N.N. Prospects for the use of industrial oil extraction waste by recycling sunflower husks. *Urban environment safety: Proceedings of the VIII research to practice conference*. Omsk. 2021. 88-92. (In Russ.).
2. Tuntsev, D.V., Kharkov, V.V., Kuznetsov, M.G. Processing sunflower husk into high strength coal briquettes. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2019.4(56). 86-90. (In Russ.).
3. Kharkov, V.V., Tuntsev, D.V., Kuznetsov, M.G. Thermochemical processing of sunflower husks. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2018.4(51). 130-134. (In Russ.).
4. Osman, N.S. [et al.]. Sunflower shell waste as an alternative animal feed. *Materials Today: Proceedings*. 2018. 5(10). 21905-21910.
5. Kuznetsov, M.G., Kharkov, V.V., Dubkova, N.Z. Mathematical modelling of a cone hydrodynamic plant. *Vestnik of the Technological University*. 2016. 19(20). 164-166. (In Russ.).
6. Sashenkova, S.A., Ilyina, G.V., Ilyin, D.Yu., Dashkina, A.R. Technological methods of bioconversion of sunflower husk. *Niva Povolzhya*. 2020.2. 52-57. (In Russ.).
7. Islamova, S.I., Dobrynin, A.B. Sunflower husk processing through oxidative torrefaction. *Plant raw material chemistry*. 2022.1. 325-334. (In Russ.).
8. Khusid, S.B., Gneush, A.N., Nesterenko, E.E. Sunflower husks as a source for the production of functional feed supplements. *Scientific Journal of KubSAU*. 2015. 107(03). 142-155. (In Russ.).
9. Sashenkova, S.A., Ilyina, G.V., Ilyin, D.Yu., Dashkina, A.R. Technological methods of cascade bioconversion of sunflower husk. *Niva Povolzhya*. 2020.2(55). 52-57. (In Russ.).
10. Robertiello, A. Sunflower hulls as a component of feeds. *Agricultural Wastes*. 1984. 10. 257-266.
11. Korotkov, V.G., Kishkilev, S.V., Solovykh, S.Yu., Antimonov, S.V. Extrudate of fodder based on sunflower husk. *Tekhnicheskie nauki - ot teorii k praktike*. 2013. 18. 124-131. (In Russ.).
12. Demina, D.M. Enzymatic hydrolysis of sunflower husks. *Nauka i molodezh: Proceedings of the XXI All-Russia science and technology conference for undergraduate, graduate and postgraduate students and young scientists*. Barnaul. 2024. 401-403. (In Russ.).
13. Akhmedzyanova, R.R., Valeeva, R.T., Tuntsev, D.V. Enzymatic hydrolysis of sunflower husks. *Innovatsionnyi vzglad razvitiia obshchestva: vzglad moodykh uchenykh: Scientific article collection of the 4th All-Russia science conference for advanced developments*. Kursk. 2023. 257-259. (In Russ.).
14. Kozhemyakin, D.S., Kamenskaya, E.P. Analysis of sunflower seed processing reusable waste. *Refrigeration technology, utility systems and biotechnology: Abstract collection of the VI National conference for undergraduate, graduate and postgraduate students and young scientists, Kemerovo, November 7*. 2024. 148-149. (In Russ.).
15. Vistovskaya, V.P., Kozhemyakin, D.S., Kamenskaya, E.P. Optimization of sunflower husk enzymolysis parameters through the use of mathematical modeling methods. *Polzunovskiy vestnik*. 2025. No. 1. P. 103-109. (In Russ.).
16. Stokozenko, V.G., Nemanova, Yu.V., Gubina, S.M. The effect of alkali reduction and oxidation systems on industrial hemp lignin solubility. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Textile Industry Technology*. 2007. 5(301). 35-38. (In Russ.).
17. Vistovskaya, V.P., Demina, D.M. Yeast culture in sunflower husk hydrolizates. *Technology and equipment in the chemical, biotechnological and food industry: Proceedings of the XVII All-Russia research to practice conference for undergraduate, graduate and postgraduate students and young scientists with international participation*. Biysk, 2024. 235-240. (In Russ.).

Information about the authors

D.S. Kozhemyakin - postgraduate student at the Department of Technology of Fermentation and Winemaking of the Altay State Technical University.

E.P. Kamenskaya - Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Fermentation and Winemaking of the Altay State Technical University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 07 июня 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 07 June 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.



Научная статья

4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)

УДК 638.162

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.003



ОЦЕНКА КАЧЕСТВА И ПОДЛИННОСТИ МЕДА ПО ОБЩИМ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ И СОДЕРЖАНИЮ ОСНОВНЫХ САХАРОВ

Ирина Юрьевна Резниченко ¹, Татьяна Александровна Донченко ²

^{1, 2} Кузбасский государственный аграрный университет им. В.Н. Полецкого, Кемерово, Россия

² Центр гигиены и эпидемиологии в Кемеровской области, Кемерово, Россия

¹ irina.reznichenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7486-4704>

² mta84@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2144-1521>

Аннотация. Мониторинг качества продуктов питания в системе Роспотребнадзора позволяет исключить негативное воздействие продовольствия на здоровье людей. Мед – один из наиболее фальсифицируемых натуральных продуктов питания. Нарушение технологии обработки меда, несоблюдение режимов и условий хранения, разбавление меда сахарным и другими сиропами, нарушение условий содержания пчел являются частыми способами фальсификации меда. Подтверждение соответствия медовой продукции по качеству и безопасности, усиление контроля меда на всех стадиях товародвижения – важная задача по обеспечению потребителей медом, соответствующим требованиям стандартов. Объектами исследований являлись закодированные образцы меда, реализуемые на потребительском рынке г. Кемерово. При проведении испытаний опирались на стандартизированные методики анализа меда. В качестве критериев подтверждения подлинности и качества меда выбраны физико-химические показатели: массовая доля воды, общая кислотность, диастазное число, содержание оксиметилфурфурола, содержание основных сахаров. Выбранные критерии позволяют с высокой степенью достоверности выявить качественную фальсификацию меда. По результатам исследований физико-химических показателей качества выявлено несоответствие по диастазному числу у 14 % образцов, несоответствие по массовой доле воды и содержанию оксиметилфурфурола – у 7 % образцов; содержание сахарозы превышает нормируемые значения в двух образцах – на 40 и 420 % соответственно; 7 % образцов не соответствуют по содержанию фруктозы и глюкозы. Полученные данные имеют практическое значение для расширения области стандартизации нормируемых показателей качества меда различных видов по отдельным сахарам и подчеркивают необходимость проведения дальнейших исследований других видов медов (монофлорных, падевых) для оценки их качества и аутентичности с целью выявления фальсификации.

Ключевые слова: мед натуральный, подлинность, оценка качества, сахароза, фруктоза, глюкоза, диастазное число, оксиметилфурфурол.

Для цитирования: Резниченко И. Ю., Донченко Т. А. Оценка качества и подлинности меда по общим физико-химическим показателям и содержанию основных сахаров // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 19–23. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.003. EDN: <https://elibrary.ru/HUGMOY>.

Original article

ASSESSMENT OF QUALITY AND AUTHENTICITY OF HONEY BY GENERAL PHYSICAL AND CHEMICAL INDICATORS AND CONTENT OF MAIN SUGARS

Irina Yu. Reznichenko ¹, Tatyana A. Donchenko ²

^{1, 2} Kuzbass State Agrarian University named after V.N. Poletskov, Kemerovo, Russia

² Center for Hygiene and Epidemiology in the Kemerovo Region

¹ irina.reznichenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7486-4704>

² mta84@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2144-1521>

Abstract. Monitoring the quality of food products in the Rospotrebnadzor system allows us to exclude the negative impact of food on human health. Honey is one of the most falsified natural food products. Violation of honey processing technology, failure to comply with storage conditions and modes, dilution of honey with sugar and other syrups, violation of beekeeping conditions are common ways of falsifying honey. Confirmation of com-

© Резниченко И. Ю., Донченко Т. А., 2025

pliance of honey products with quality and safety, strengthening control over honey at all stages of product distribution is an important task in providing consumers with honey that meets the requirements of standards. The objects of the research were coded samples of honey sold on the consumer market in Kemerovo. Standardized methods of honey analysis were used in the tests. The following physicochemical indicators were selected as criteria for confirming the authenticity and quality of honey: mass fraction of water, total acidity, diastase number, content of hydroxymethylfurfural, content of basic sugars. The selected criteria allow us to identify high-quality falsification of honey with a high degree of reliability. The results of the studies of physicochemical quality indicators revealed a discrepancy in the diastase number in 14% of the samples, a discrepancy in the mass fraction of water and the content of hydroxymethylfurfural in 7% of the samples; the sucrose content exceeds the standardized values in two samples - by 40 and 420%, respectively; 7% of the samples do not comply with the content of fructose and glucose. The data obtained are of practical importance for expanding the scope of standardization of the standardized quality indicators of various types of honey for individual sugars and emphasize the need for further studies of other types of honey (monofloral, honeydew) to assess their quality and authenticity in order to identify counterfeiting.

Keywords: natural honey, authenticity, quality assessment, sucrose, fructose, glucose, diastase number, hydroxymethylfurfural.

For citation: Reznichenko, I.Yu. & Donchenko, T.A. (2025). Assessment of quality and authenticity of honey by general physical and chemical indicators and content of main sugars. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 19-23. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.003. EDN: <https://elibrary.ru/HUGMOY>.

ВВЕДЕНИЕ

Мед как продукт питания считается лечебно-профилактическим и обладает доказанными функциональными свойствами, благодаря антибактериальному, противомикробному действию, высокому содержанию витаминов и минеральных веществ [1]. Необходимо отметить, что состав мёда непостоянен и зависит от источника сбора, погодных и климатических условий, района произрастания растений, времени сбора, зрелости мёда, породы пчёл [2, 3]. В состав мёда входит около 300 различных веществ, но основу его составляют простые сахара – фруктоза и глюкоза, смесь этих моносахаров называют инвертированным сахаром. Общее содержание моно- и дисахаридов составляет в среднем 75–80 %, из них 27–44 % фруктозы, 22–41 % глюкозы и от 1 до 8 % сахарозы [4]. В связи с этим мед, как правило, используется в питании в качестве сладкого продукта. Потребители принимают мед как более здоровую, натуральную альтернативу белому (столовому) сахару [5].

Сахара в формировании качественных характеристик меда и как критерий его подлинности играют большую роль. Общее содержание сахаров, качественное и количественное их значение позволяют выявлять подлинность меда и его видовую принадлежность (монофлорный, полифлорный, падевый).

Установлено, что термическая обработка меда (особенно при температуре выше 40–45 °C) и длительное хранение негативно отражаются на антибактериальной активности, которая может варьировать в зависимости от вида меда. В то же время показано, что антибактериальная активность меда не идентична активности содержащихся в меде сахаров [1].

Активность сахаров зависит от содержания влаги в меде, кислотности, термической обработки и параметров хранения. При нагревании меда из-за карамелизации сахаров появляется оксиметилфурфурол. Основным источником оксиметилфурфуrolа в меде является фруктоза. Поскольку в меде имеется кислая среда, происходит частичное разложение фруктозы с образованием оксиметилфурфуrolа, которое значительно ускоряется при нагревании. ТР ТС 021/2011 регламентирует наличие в меде оксиметилфурфуrolа: не более 5 мг/кг [6]. Теоретически содержание оксиметилфурфуrolа в свежем меде близко к нулю, если пчел не подкармливали продуктами, содержа-

щими оксиметилфурфуrol, например, перегретым медом, инвертным сиропом и т.п.

Установлено, что содержание сахарозы, общая кислотность меда могут выступать достоверными параметрами при подтверждении натуральности, вида меда, методов обработки меда и вида корма для пчел [5, 7].

Показано, что в монофлорных видах медов, как правило, меньше сахаров, в то время как в полифлорных и падевых медах их больше. Общее содержание сахаров в монофлорных медах составляло от 22 до 59 %, в падевых и полифлорных – от 73 до 84 % в зависимости от вида растений и места сбора. Содержание сахаров в составе меда зависит и от вида пчел, например, мед безжалых пчел обладает низкой активностью диастазы и инвертазы [8].

Установлено влияние вида обработки меда на его питательную ценность. Исследования по влиянию распылительной сушки, термической обработки, термоультразвуковой обработки, обработки под высоким давлением и микроволновой обработки показали, что все виды обработки по-разному влияют на качество меда [9].

Анализ качества сахаров и активности ферментов меда позволяет выявить качественную фальсификацию меда, а именно добавление в мед различных сахарных сиропов [10]. Доказано, что добавление тростникового или кукурузного или солодового сиропа в мед даже в незначительных количествах (до 10 %) значительно увеличивает содержание гидроксиметилфурфуrolа, что подчеркивает необходимость совершенствовать методы контроля качества, улучшение стандартов для решения задачи с аутентичностью меда [11]. Выявление индикаторов для определения технологической фальсификации меда (операций переработки), предреализационной (соблюдение режимов и условий хранения) и качественной (подкормка пчел, добавление сахарных сиропов) является важной задачей в оценке качества меда [12, 13].

Мониторинг качества продукции, реализуемой на потребительском рынке, позволяет не только разрабатывать меры по предотвращению реализации некачественной и опасной продукции, но и определить направления политики в области качества, здорового питания и охраны здоровья населения.

Цель работы связана с мониторингом качества меда и направлена на выявление фальсификации и

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА И ПОДЛИННОСТИ МЕДА ПО ОБЩИМ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ И СОДЕРЖАНИЮ ОСНОВНЫХ САХАРОВ

натуральности меда путем определения фактического содержания в меде фруктозы, глюкозы, сахарозы, диастазного числа, оксиметилфурфурола, массовой доли воды, свободной кислотности.

Задачи исследований направлены на получение достоверной информации, связанной с соблюдением или несоблюдением стандартов качества на мед.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследований являлись закодированные образцы меда территорий: Алтайский край Ельцовский р-н с. Ельцовка; Алтайский край г. Бийск; Кемеровская область, Топкинский район, с. Шишино; г. Кемерово; г. Междуреченск; г. Уфа; г. Новосибирск; Кемеровская область, Крапивинский район, д. Усть-Грязная; Промышленновский район, д. Пор-Искитим; Таштагольский район с. Кондома; Республика Азербайджан (Нагорно-Карабахский и Нахчыванский регионы). Всего анализировано 14 образцов медов натуральных цветочных.

Для анализа состава сахаров в работе использован метод капиллярного электрофореза согласно М 04-69-2011 «Определение фруктозы, глюкозы и сахарозы в напитках, плодоовощной продукции, меде и биологически активных добавках»; для определения диастазного числа и массовой доли воды – спектофотометрический по ГОСТ 34232-2017 «Мед. Методы определения активности сахаразы, диастазного числа, нерастворимых веществ»; для анализа оксиметилфурбуола – высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ) по ГОСТ 31768-2012 «Мед натуральный. Методы определения гидроксиметилфурфурала» [14].

Таблица 1 – Содержание в меде основных сахаров

Table 1 – Content of main sugars in honey

Номер закодированного образца	Содержание, %		
	сахароза	фруктоза	глюкоза
1	2,00±0,22	34,3±7,2	26,2±5,5
2	2,19±0,24	36,1±7,6	29,2±6,1
3	2,53±0,27	34,0±7,1	27,1±5,8
4	2,40±0,08	36,5±7,7	21,6±4,5
5	4,22 ± 0,46	29,0±6,1	27,3±5,7
6	2,40±0,08	45,6±9,6	37,8±7,9
7	2,52±0,27	36,3±7,6	23,4±4,9
8	2,19±0,24	33,2±7,0	27,8±5,8
9	Более 26,0	4,0±0,8	2,1±0,4
10	4,8±0,5	35,9±7,5	27,3±5,7
11	4,00±0,44	35,1±7,4	27,1±5,7
12	7,20±0,79	35,2±7,4	17,8±3,7
13	3,16±0,34	33,6±7,1	20,3±4,3
14	2,53±0,27	44,8±9,4	41,5±8,7

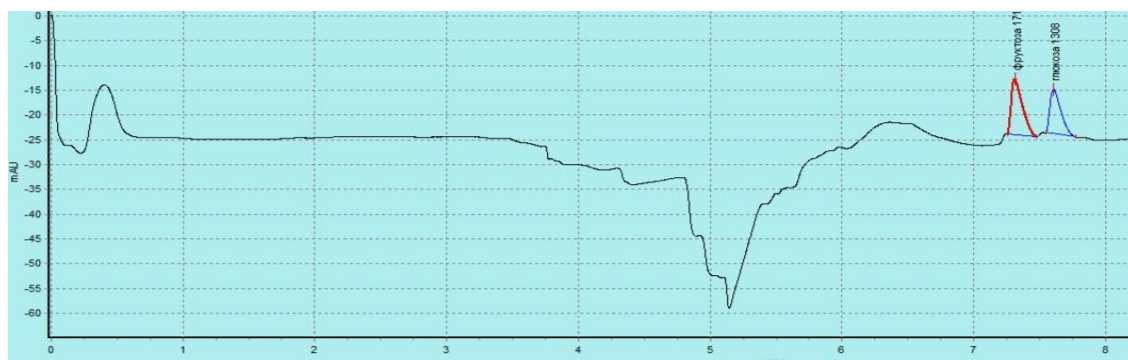


Рисунок 1 – Электрофореграмма по содержанию фруктозы и глюкозы в меде (образец 9)

Fig. 1 – Electropherogram of the fructose and glucose content in honey (sample 9)

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведены испытания меда, представленного на потребительском рынке Кемеровской области, по содержанию в меде фруктозы, глюкозы, сахарозы, диастазного числа, оксиметилфурфурола, свободной кислотности и массовой доли воды. Мониторинг качества меда осуществляли в период 2023–2024 гг.

Фактические результаты исследования сахаров в образцах меда приведены в таблице 1. Необходимо пояснить, что, согласно требованиям ГОСТ 19792-2017, в меде нормируется только содержание сахарозы, которой должно быть не более 5,0 %.

Анализ содержания сахаров в меде установил, что из 14 образцов не соответствуют по показателю два образца. Высокое содержание сахарозы (образец 9) указывает на дополнительное введение сиропа в мед или косвенное кормление пчел сахарным сиропом. В любом случае содержание сахарозы более 26 % указывает на фальсификацию меда.

Электрофореграммы по содержанию фруктозы и глюкозы в меде приведены на рис. 1, по содержанию глюкозы и сахарозы – на рис. 2. Содержание фруктозы и глюкозы в различных видах меда различаются. Массовая доля фруктозы и глюкозы составляет для цветочного меда не менее 60 %, для падевого и смешанного – 45 %. Из табличных данных видно, что в образце № 9 самое низкое содержание фруктозы и глюкозы (суммарное значение редуцирующих сахаров составляет 6,1 %), что свидетельствует о фальсификации продукта путем добавления сиропов или подкормки пчел сахаром.



Рисунок 2 – Электрофореграмма по содержанию глюкозы и сахарозы в меде (образец 9)

Fig. 2 – Electropherogram of glucose and sucrose content in honey (sample 9)

На следующем этапе в образцах определяли кислотность, содержание оксиметилфурфурола. массовую долю воды, диастазное число, свободную. Данные приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-химические показатели качества меда

Table 2 – Physicochemical indicators of honey quality

Номер образца	Диастазное число, ед. Готе, не менее 8	Массовая доля воды, %, не более 20	Свободная кислотность, мэкв/кг, не более 40,0	Оксиметилфурфурол, мг/кг, не более 5
1	24,8±1,7	16,8 ± 0,7	19,2 ± 2,9	0,34±0,09
2	40,6±2,8	20,7±0,8	19,8 ± 3,0	1,25±0,31
3	8,4 ± 0,9	17,0 ± 0,7	25,1 ± 2,5	0,46±0,12
4	34,9±2,4	15,40±0,04	27,0±1,4	0,25±0,06
5	9,9 ± 1,1	18,2 ± 0,7	16,6 ± 2,5	0,44±0,11
6	34,9±2,4	23,80±0,95	23,4 ± 3,5	0,35±0,09
7	47,9±3,4	16,80±0,04	17,5 ± 2,6	0,41±0,10
8	28,6±2,0	17,4± 0,7	12,1 ± 1,8	0,31±0,08
9	3,2±0,6	13,0±0,04	23,4 ± 3,5	6,95±1,74
10	10,7±1,2	13,0±0,04	29,1 ± 2,9	0,34±0,09
11	15,9±1,7	17,0±0,7	13,6±2,0	0,40±0,10
12	3,4±0,4	17,6±0,7	12,7 ± 1,9	0,39±0,10
13	14,8±1,6	17,4±0,7	13,0±2,0	0,36±0,09
14	36,0±2,5	18,6±0,7	14,1±2,1	0,32±0,08

Полученные данные по диастазному числу выявили несоответствие у двух образцов меда. Диастазное число мёда – это основной показатель натуральности, подлинности и зрелости мёда. Чем выше этот показатель, тем качественнее и полезнее мёд. Значение диастазного числа мёда также зависит от породы пчёл, силы пчелиной семьи, климатических условий, состоянии почв, интенсивности медосбора, уровня зрелости откачиваемого мёда и от того, с каких медоносных растений собран нектар. Диастаза – это фермент амилаза, нестойкий при нагревании меда выше 50 °С. Низкое значение диастазного числа говорит о фальсификации меда путем нагрева закристаллизовавшегося или старого меда.

ОБСУЖДЕНИЕ

В большинстве случаев на биологическую активность, антибактериальные свойства, питательную ценность и сенсорные характеристики меда негативно влияет многократная термическая обработка меда, высокая температура переработки перед розливом, нарушение режимов и условий хранения, поэтому важен контроль каче-

ственных критериев, которые объективно позволяют выявлять способы фальсификации и подтверждать натуральность меда. В качестве параметров, наиболее четко характеризующих подлинность меда, используются общая кислотность, содержание сахаров, содержание оксиметилфурфурола.

Полученные данные в исследованиях подтверждают гипотезу испытаний.

Разработка простых, доступных методов для расширения области стандартизации меда позволит выявлять подлинность и натуральность такого уникального продукта питания.

Практическая ценность полученных результатов заключается в их применении для выявления фальсифицированной и некачественной продукции, реализуемой на потребительском рынке и обеспечения населения качественными и безопасными продуктами питания.

Данная работа подчеркивает необходимость проведения дальнейших исследований других видов мёдов и выявления фальсификации для улучшения стандартов оценки качества и решения проблемы с аутентичностью мёдов.

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2025

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА И ПОДЛИННОСТИ МЕДА ПО ОБЩИМ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ И СОДЕРЖАНИЮ ОСНОВНЫХ САХАРОВ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данные, полученные в ходе испытаний, указывают на важность мониторинга качества и выявление фальсификации меда как продукта с высокой биологической ценностью. Выявлено, что доля несоответствующей продукции по физико-химическим показателям качества составляет:

- несоответствие по диастазному числу – 14 %;
- несоответствие по показателям массовой доле воды и содержанию оксиметилфурфурола – по 7 %;
- содержание сахарозы превышает в двух образцов на 40 и 420 % соответственно;
- в 7% образцов не соответствует содержанию фруктозы и глюкозы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Honey antibacterial activity: A neglected aspect of honey quality assurance as functional food / Majtan J. [et al.] // *Trends in Food Science & Technology*. 2021. Т. 118. С. 870–886.
2. Мирошина Т.А., Резниченко И.Ю. Систематизация биотехнологических свойств продукции пчеловодства // *Вестник КрасГАУ*. 2024. № 4(205). С. 216–222. DOI : 10.36718/1819-4036-2024-4-216-222.
3. Любимов А.С., Любимова О.Д., Резниченко И.Ю. Антимикробная активность Кузбасского дягилевого меда // *Пчеловодство*. 2024. № 3. С. 52–54.
4. Mohamadzade Namin S., Ghosh S., Jung C. Honey quality control: review of methodologies for determining entomological origin // *Molecules*. 2023. Т. 28. № 10. С. 4232.
5. Monitoring the quality of honey: South African case study / De Beer T. [et al.] // *Food Chemistry*. 2021. Т. 343. С. 128527.
6. TP TC 021/2011. Технический регламент таможенного союза «О безопасности пищевой продукции»: принят решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 года № 880. Москва: Изд-во стандартов, 2011. 242 с.
7. Waworuntu J. Sugar Content Composition of Various Types of Honey Produced by Apis Mellifera L.: A Review // *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*. 2024. Т. 10. № Special Issue. С. 98–106.
8. Sugar profile and enzymatic analysis of stingless bee honey collected from local market in Malaysia/Julika W. N. [et al.] // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 2020. Т. 736. № 6. С. 062001.
9. The impact of processing methods on the quality of honey: A review / Ramly N. S. [et al.] // *Malaysian Journal of Applied Sciences*. 2021. Т. 6. № 1. С. 99–110.
10. Резниченко И.Ю., Любимов А.С. Виды фальсификации меда и меры предупреждения мошенничества // *Пчеловодство*. 2025. № 2. С. 46–48.
11. Brar D.S. [et al.]. Chemical and functional characteristics to detect sugar syrup adulteration in honey from different botanical origins // *International Journal of Food Properties*. 2023. Т. 26. № 1. С. 1390–1413.
12. Agus A. [et al.]. Honey sugars profile of stingless bee *Tetragonulaeviceps* (Hymenoptera: Meliponinae) // *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 2021. Т. 22. № 11.
13. Брандорф А.З., Серебрякова О.В., Есенкина С.Н. Основные индикаторы соблюдения норм производства и условий хранения меда // *Аграрный вестник Урала*. 2021. № 9 (212). С. 34–43.
14. ГОСТ 19792-2017 Мед натуральный. Технические условия. Введ.2019-01-01. Москва, 2019. 20 с.

Информация об авторах

И. Ю. Резниченко – доктор технических наук, профессор кафедры биотехнологий и производства продук-

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

Статья поступила в редакцию 07 июня 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 07 June 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.

тов питания ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный аграрный университет им. В.Н. Полецкого».

Т. А. Донченко – старший преподаватель кафедры биотехнологий и производства продуктов питания, ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный аграрный университет им. В.Н. Полецкого», г. Кемерово, Центр гигиены и эпидемиологии в Кемеровской области.

REFERENCES

1. Majtan, J. & Bucekova, M. (2021). Honey antibacterial activity: A neglected aspect of honey quality assurance as functional food. *Trends in Food Science & Technology*.(118). 870-886.
2. Miroshina, T.A. & Reznichenko, I.Yu. (2024). Systematization of biotechnological properties of beekeeping products. *Bulletin of KrasSAU*. No. 4 (205). 216-222. (In Russ). DOI 10.36718/1819-4036-2024-4-216-222.
3. Lyubimov, A.S. & Lyubimova, O.D. (2024). Antimicrobial activity of Kuzbass angelica honey. *Beekeeping*. (3). 52-54. (In Russ.).
4. Mohamadzade, Namin S. & Ghosh, S. (2023). Honey quality control: review of methodologies for determining entomological origin. *Molecules*. Т. 28. No. 10. 4232.
5. De Beer, T. & Otto, M. (2021). Monitoring the quality of honey: South African case study/. *Food Chemistry*. (343). 128527.
6. Technical regulations of the Customs Union. About food safety. (2011). TR TS No. 021/2011 from December 9, 2011. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).
7. Waworuntu, J. (2024). Sugar Content Composition of Various Types of Honey Produced by Apis Mellifera L.: A Review. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*. Т. 10. No. Special Issue. 98-106.
8. Julika, W.N. & Ajit, A. (2020). Sugar profile and enzymatic analysis of stingless bee honey collected from local market in Malaysia [et al.] // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing. Т. 736. No. 6. 062001.
9. Ramly, N.S. & Sujanto, I.S.R. (2021). The impact of processing methods on the quality of honey: A review. *Journal of Applied Sciences*. Т. 6. No. 1. 99-110.
10. Reznichenko, I.Yu. & Lyubimov, A.S. (2025). Types of honey falsification and measures to prevent fraud. *Beekeeping*. (2). 46-48. (In Russ.).
11. Brar, D.S. & Nayik, G.A. (2023). Chemical and functional characteristics to detect sugar syrup adulteration in honey from different botanical origins. *International Journal of Food Properties*. 26(1). 1390-1413.
12. Agus, A. & Agussalim, A. (2021). Honey sugars profile of stingless bee *Tetragonulaeviceps* (Hymenoptera: Meliponinae). *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 22(11).
13. Brandorf, A.Z. & Serebryakova, O.V. (2021). Main indicators of compliance with production standards and storage conditions of honey. *Agrarian Bulletin of the Urals*. No. 9 (212). 34-43. (In Russ.).
14. Natural honey. Technical conditions. (2017). HOST 19792-2017 from 1 January 2019. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).

Information about the authors

I.Yu. Reznichenko - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Biotechnology and Food Production, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kuzbass State Agrarian University named after V.N. Poletskov».

T.A. Donchenko - Senior Lecturer of the Department of Biotechnology and Food Production, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kuzbass State Agrarian University named after V.N. Poletskov», Kemerovo, Center for Hygiene and Epidemiology in the Kemerovo Region.



Научная статья

4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)

УДК 664 :663.03; 66.083

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.004



ФЛЮИДНАЯ ЭКСТРАКЦИЯ КАК СПОСОБ ВЫДЕЛЕНИЯ, ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Лариса Алексеевна Рябоконева ¹, Лариса Викторовна Пермякова ²,
Ирина Юрьевна Сергеева, ³ Александр Сергеевич Марков ⁴

^{1, 2, 3, 4} Кемеровский государственный университет, 650000, г. Кемерово, ул. Красная, 6, Россия

¹Lara.ryabokoneva22@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3282-9326>

²delf-5@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1996-8903>

³sergeeva.76@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1686-0131>

⁴asm041@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3648-7557>

Аннотация. Сверхкритическая флюидная экстракция среди других видов извлечения целевых компонентов из растительного сырья является наиболее рациональным и экономически эффективным способом, что обуславливает ее применение в последние годы. На примере лекарственно-технического сырья, такого как *Taraxacum officinale* W. и *Trifolium pratense* L., исследован процесс экстрагирования биологически активных веществ в зависимости от давления диоксида углерода, а также определен компонентный состав полученных фракций спектрофотометрическим методом. Установлено увеличение выхода экстрактов с ростом давления в рабочей колонке (в диапазоне от 8.1 до 20.1 МПа). Максимальный суммарный выход экстракта для *Taraxacum officinale* W. (1.8 г/100 г сухих веществ) и *Trifolium pratense* L. (3.5 г/100 г сухих веществ) наблюдался при давлении соответственно 20.1 и 15.1 МПа. Изменение рабочего давления отразилось на консистенции экстрактов, перешедших из жидкого в воскообразное состояние, что связано с большим количеством извлеченных тугоплавких компонентов, предположительно восков. В спектрограммах отдельных фракций обнаружены различные вещества полифенольного ряда. Для экстракта *Taraxacum officinale* W. установлено присутствие кафтаровой кислоты, хлорогеновой кислоты и производных форм цинарода, в экстракте *Trifolium pratense* L. отмечено наличие представителей группы изофлавоноидов (генистеина и опонина). Наличие во флюидных экстрактах *Taraxacum officinale* W. и *Trifolium pratense* L. биологически активных соединений позволяет использовать их в производстве функциональных продуктов и в качестве природных активаторов роста и биосинтеза целевых компонентов дрожжевой культуры.

Ключевые слова: флюидная экстракция, *Taraxacum officinale* W., *Trifolium pratense* L., биологически активные вещества, фракционирование.

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-26-00134, <https://rscf.ru/project/24-26-00134/>.

Для цитирования: Рябоконева Л. А., Пермякова Л. В., Сергеева И. Ю., Марков А. С. Флюидная экстракция как способ выделения, фракционирования биологически активных веществ // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 24–30. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.004. EDN: <https://elibrary.ru/MLZDFM>.

Original article

FLUID EXTRACTION AS A METHOD FOR ISOLATING AND FRACTIONATING BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES

Larisa A. Ryabokoneva ¹, Larisa V. Permyakova ²,
Irina Y. Sergeeva ³, Aleksandr S. Markov ⁴

^{1, 2, 3, 4} Kemerovo State University, 650000, Kemerovo, Krasnaya St., 6, Russia

¹Lara.ryabokoneva22@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3282-9326>

²delf-5@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1996-8903>

³sergeeva.76@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1686-0131>

⁴asm041@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3648-7557>

Abstract. Supercritical fluid extraction is the most rational and cost-effective method among other methods of extracting target components from plant raw materials, which has led to its widespread use in recent years. Using medicinal and technical raw materials such as *Taraxacum officinale* W. and *Trifolium pratense* L. as an example, the process of extracting biologically active substances was studied depending on the carbon dioxide pressure, and the component composition of the fractions obtained was determined using the spectrophotometric

© Рябоконева Л. А., Пермякова Л. В., Сергеева И. Ю., Марков А. С., 2025

ФЛЮИДНАЯ ЭКСТРАКЦИЯ КАК СПОСОБ ВЫДЕЛЕНИЯ, ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

method. It was found the yield of extracts increased with increasing pressure in the working column (in the range from 8.1 to 20.1 MPa). The maximum total yield of the extract for *Taraxacum officinale* W. (1.8 g/100 g dry substances) and *Trifolium pratense* L. (3.5 g/100 g dry substances) was observed at a pressure of 20.1 and 15.1 MPa, respectively. The change in working pressure affected the consistency of the extracts, which changed from a liquid to a waxy state, which is associated with a large number of extracted refractory components, presumably waxes. In the spectrograms of individual fractions, various substances of the polyphenol series were found. The presence of caftaric acid, chlorogenic acid and derivatives of cinarod was established for the *Taraxacum officinale* W. extract, and the presence of representatives of the isoflavonoid group (genistein and ononin) was noted in the *Trifolium pratense* L. extract. The presence of biologically active compounds in the fluid extracts of *Taraxacum officinale* W. and *Trifolium pratense* L. allows them to be used in the production of functional products and as natural activators of growth and biosynthesis of target components of yeast culture.

Keywords: fluid extraction, *Taraxacum officinale* W., *Trifolium pratense* L., biologically active substances, fractionation.

Acknowledgements: The study was supported by a grant. Russian Science Foundation. <https://rscf.ru/en/project/24-26-00134/>.

For citation: Ryabokoneva, L.A., Permyakova, L.V., Sergeeva, I.Y. & Markov, A.S. (2025). Fluid extraction as a method for isolating and fractionating biologically active substances. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 24-30. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.004. EDN: <https://elibrary.ru/MLZDFM>.

ВВЕДЕНИЕ

Современное состояние рынка пищевой продукции ставит перед производителями ряд специфических задач, решение которых позволяет оставаться интересным и конкурентоспособным для конечного потребителя. Текущие тенденции отрасли направлены на повышение эффективности используемого сырья, технологических процессов, а также расширение ассортимента матрицы за счет производства обогащённой продукции [1]. В качестве функциональных добавок чаще всего выступают биологически активные вещества (БАВ), выделяемые из растительного сырья [2]. Растительное сырьё разнообразно по своему химическому составу и практически неисчерпаемо по наличию ценных биологических компонентов. Целевые вещества в основном извлекают различными технологиями экстрагирования. Среди современных методов выделяется своей рациональностью и экономичностью флюидная экстракция.

Особенностью данной технологии является использование растворителя в газообразном состоянии, с величиной давления и температурой выше критической точки, установленной для конкретной жидкости или газа. В этом состоянии вещество расширяется, занимая весь предоставленный объём подобно газу, но в то же время имеет высокую плотность, как у жидкости [1, 2]. Углекислый газ достигает аналогичного состояния при температуре 31.1 °C и давлении 7.39 МПа [2]. Качество, состав растительного экстракта можно регулировать за счет разделения его на фракции в соответствии с их физико-химическими характеристиками. Особенности количественно-качественного состава фракций обычно основаны на свойствах растворителя, которые регулируются путем изменения давления экстракции [3]. Уникальные особенности углекислого газа в сверхкритическом состоянии делают возможными его применение в различных отраслях промышленности: нефтехимической, пищевой, парфюмерной, фармацевтической и других [2]. Доминирующим технологическим преимуществом флюидной экстракции является наиболее полное извлечение репрезентативных веществ сырья и возможность фракционирования полученных экстрактов по целевому компоненту [4, 5].

Биологически активные компоненты сырья, с одной стороны, могут обуславливать функциональную направленность пищевых продуктов, включая напитки.

Другой аспект применения БАВ в биотехнологии продуктов брожения – стимулирование или подавление жизнедеятельности микроорганизмов как осуществляющих ферментацию среды, так и посторонних [5, 6]. С учетом этого интерес представляет растительное сырьё, относящееся к пряно-ароматическому и лекарственно-техническому. В частности, в первой группе сырья можно выделить *Zingiber officinale* (имбирь лекарственный, или имбирь обыкновенный) и *Coriandrum sativum* (кориандр посевной). Данные растения характеризуются значительным содержанием в своем составе фенольных веществ разного строения, обладающих разноплановой специфической активностью. Экстракты из этих видов сырья перспективны при разработке продукции функциональной направленности [7]. Из второй группы растительного сырья стоит обратить внимание на *Taraxacum officinale* W. (одуванчик лекарственный) и *Trifolium pratense* L. (клевер луговой), целевые компоненты которых потенциально могут влиять на физиолого-биохимические функции дрожжевой культуры [6, 7, 8, 9].

Taraxacum officinale W. достаточно широко применяется в народной медицине. Присутствие в *Taraxacum officinale* W. моно- и олигосахаридов, инулина, пектиновых полисахаридов, целлюлозы, большой группы фенольных веществ (превалируют флавоноиды, фенолокислоты), терпеновых соединений (тараксерол, тараксол, таракастерол, фарадиол, арнидиол и др.), стеридов (стигмастерол, β -ситостерол) обуславливают его многогранную фармакологическую активность [8, 9, 10].

Trifolium pratense L. также является источником ценных биологических веществ. Соцветия рассматриваемого сырья содержат гликозиды различной структуры, дубильные вещества, эфирные и жирные масла, органические кислоты и водорастворимые витамины [11]. В корнях *Trifolium pratense* L. присутствует трифолиризин, обладающий антимикробной активностью [12]. В определённый период вегетации в данных видах растений накапливается большое количество аскорбиновой кислоты и токоферолов, обеспечивающих высокую антиоксидантную активность сырья [13]. Отдельные компоненты *Taraxacum officinale* W. и *Trifolium pratense* L. могут оказывать влияние на биокаталитические процессы в дрожжевой культуре [14, 15].

Цель исследования – оценить целесообразность применения флюидной экстракции для извлечения БАВ из лекарственно-технического сырья на

примере *Taraxacum officinale* W. и *Trifolium pratense* L., установить влияние параметров флюидной экстракции на компонентный состав экстрактов для дальнейшего использования целевых веществ сырья в биотехнологии для регулирования жизнедеятельности микроорганизмов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования служили углекислотные экстракты из лекарственно-технического сырья *Taraxacum officinale* W. и *Trifolium pratense* L. Сырье в виде наземной части собирали в период вегетации (2023 г.) в районе д. Осиновка Кемеровской области, подвергали естественной сушке и последующему измельчению на режущей мельнице CW-1 (HT Machinery, Япония).

Процесс экстрагирования проводили на полупромышленной установке для CO₂ экстракции (ООО «СО2ЭХТ», г. Пушкино, Московская область, Россия). Установка представляет собой экстрактор закрытого типа с тремя рабочими колонками, из которых две объемом 10 л каждая и одна объемом 1 л. Имеется также три сепаратора, которые позволяют максимально увеличить расход CO₂ и фракционировать получаемый экстракт. Оборудование полностью автоматизировано. Параметры обработки сырья: температура в рабочей колонке – 40 °С, давление экстракции от 8.1 до 20.1 МПа. Давление (МПа)/температура (°С) в сепараторах 6.1/30, 5.1/30, 4.1/25, длительность экстрагирования 60 мин при каждом значении давления. Указанные режимы выбраны на основании первичных исследований с учетом обеспечения максимального выхода экстракта.

Спектры оптического поглощения исследуемых образцов регистрировали с помощью спектрофотометра СФ-2000 (ООО «ОКБ Спектр», Санкт-Петербург, Россия) при стандартных условиях в диапазоне длин волн от 200 до 800 нм, в кюветах шириной 10 мм. Раствором сравнения при измерении спектров служили пищевой этиловый спирт крепостью 96 % об. и гексан.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице 1 представлены результаты исследования по выходу экстрактов из растительного сырья в зависимости от давления. При этом исходная масса и влажность для *Taraxacum officinale* W. составляла 1.72 кг и 9.58 % соответственно, для *Trifolium pratense* L. – 1.58 кг и 10.52 %. В процессе

экстрагирования *Taraxacum officinale* W. при давлении в рабочей колонке 8.1 МПа выход продукта во всех трех сепараторах отсутствовал в отличие от *T. pratense*. Максимальный выход экстракта *Taraxacum officinale* W. наблюдался в сепараторе 2 при давлении 20.1 МПа. Наибольший выход экстракта *Trifolium pratense* L. был получен из сепаратора 3 при давлении ниже (15.1 МПа), чем в случае с *Taraxacum officinale* W. Использование рабочего давления 8.1 и 20.1 МПа также обеспечило значительный выход экстрактов *Trifolium pratense* L. соответственно из сепаратора 3 и 2. Суммарный выход экстракта (г/100 г СВ) из *Trifolium pratense* L. почти в 2 раза больше, чем из *Taraxacum officinale* W.

Полученные фракции при различном давлении в рабочей колонке значительно отличались по своим характеристикам (цвет, консистенция). Фракции № 7 (для *Taraxacum officinale* W.) и № 8 (для *Trifolium pratense* L.) были получены совместной флюидной экстракцией с соразвителем (пищевой этиловый спирт крепостью 96 % об.). Процент дозирования спирта по отношению к газу составил 2 %.

Из данных таблицы 2 видна существенная разница в органолептической характеристике экстрактов. При давлении выше 15.1 МПа повышается выход тугоплавких, воскообразных веществ.

Спектры извлеченных фракций представлены на рисунке 1. Спектрограммы сформированы с учетом выхода фракций при различном давлении в одном и том же сепараторе, а также в зависимости выхода экстрактов при одинаковом давлении, но в разных сепараторах. В качестве растворителя для жидких экстрактов (№ 1–4 для *Taraxacum officinale* W., № 1–5 для *Trifolium pratense* L.) использовали пищевой этиловый спирт крепостью 96 % об., гексан – для воскоподобных фракций (№ 5–7 и № 6–8 соответственно) (таблица 2). В скобках на рисунке указано соотношение экстракта и растворителя для спектрофотометрирования.

Анализ спектров всех полученных CO₂-экстрактов из исследуемого растительного сырья свидетельствует, что все основные пики сосредоточены в области 200–300 нм. Подобная тенденция свойственна для веществ группы изофлавоноидов, в частности генистеина [15], являющегося фитоэстрогеном. Характерный пик в данном диапазоне длин волн также может означать наличие формононетин – 7-гидрокси-4'-метоксиизофлавонон и его 7-глюкозид (ононин) или его производных, относящихся к изофлавоноидам [16].

Таблица 1 – Влияние давления на выход экстрактов *Taraxacum officinale* W. и *Trifolium pratense* L.

Table 1 – The influence of pressure on the yield of extracts *Taraxacum officinale* W. and *Trifolium pratense* L.

Сепаратор	Давление, МПа		<i>Taraxacum officinale</i> W		<i>Trifolium pratense</i> L	
	в рабочей колонке	в сепараторе	г/100 г СВ	в % от массы экстракта	г/100 г СВ	в % от массы экстракта
1	8.1	6.1	—*	—*	0.06	1.64
2		5.1	—*	—*	0.01	0.32
3		4.1	—*	—*	0.43	12.02
1	15.1	6.1	0.04	2.34	—*	—*
2		5.1	0.05	2.72	0.02	0.30
3		4.1	—*	—*	1.63	45.50
1	20.1	6.1	0.23	12.86	0.10	2.81
2		5.1	1.49	82.08	0.92	25.82
3		4.1	—*	—*	0.40	11.27
Итого:			1.81	100	3.57	100

Примечание: * – Выход экстракта отсутствовал.

ФЛЮИДНАЯ ЭКСТРАКЦИЯ КАК СПОСОБ ВЫДЕЛЕНИЯ, ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Таблица 2 – Характеристика внешнего вида фракций, полученных при экстракции *Taraxacum officinale* W. и *Trifolium pratense* L. в зависимости от давления

Table 2 – Characteristics of the appearance of fractions obtained during the extraction of *Taraxacum officinale* W. and *Trifolium pratense* L. depending on pressure

Сырье	Фракция	Давление рабочее, МПа	Давление в сепараторе, МПа	Внешний вид, характеристика экстракта
<i>Taraxacum officinale</i> W.	1	15.1	6.1	Жидкая масса зеленоватого оттенка
	2	15.1	5.1	Жидкая темно-зеленная масса с включениями
	3	20.1	6.1	Жидкая прозрачная масса зеленого цвета
	4	30.1	5.1	Жидкая прозрачная масса желтого оттенка
	5	20.1	6.1	Воскоподобная масса зелено-желтого цвета
	6	20.1	5.1	Воскоподобная масса темно-коричневого цвета
	7	10.1	6.1; 5.1; 4.1	Жидкая масса светло-зеленого цвета с включениями воскоподобных масс зелено-желтого цвета
<i>Trifolium pratense</i> L.	1	8.1	4.1	Жидкая бесцветная прозрачная масса
	2	10.1	4.1	Жидкая прозрачная масса с включениями светло-желтого цвета
	3	15.1	4.1	Жидкая прозрачная масса желтого цвета
	4	15.1	6.1	Жидкая прозрачная масса зеленого цвета
	5	15.1	5.1	Жидкая прозрачная масса коричневого оттенка
	6	8.1	4.1	Воскоподобная масса оранжевого цвета
	7	10.1	4.1	Воскоподобная масса темно-коричневого цвета
	8	10.1	6.1; 5.1; 4.1	Жидкая масса светло-зеленого цвета с включениями воскоподобных масс зелено-желтого цвета

Совместная углекислотная и спиртовая экстракция, используемая при получении фракции 7 из *Taraxacum officinale* W. (рисунок 1, а, б) и фракции 8 из *Trifolium pratense* L. (рисунок 1, в) не приводит к изменению компонентного состава этих образцов. На это указывает идентичность спектров указанных фракций с другими образцами. Например, спектр фракции 7 аналогичен спектру фракции 3 (рисунок 1, а), но в последнем случае концентрация целевых биофлавоноидов выше.

ОБСУЖДЕНИЕ

На основании полученных результатов для экстрактов *Taraxacum officinale* W. и литературных данных можно высказать предположение о присутствии во всех исследуемых фракциях (рисунок 1, а, б, в) значительного содержания каftarовой кислоты (стандартная длина волны λmax 217, 243 нм) [17]. Однако спектр обнаружения наблюдается с небольшим смещением. Это, вероятно, обусловлено многокомпонентностью состава анализируемых образцов.

Наибольшая высота пика, соответствующая максимальной концентрации указанного вещества, отмечена для фракции 3 (рисунок 1, а). На спектрах имеются также пики в диапазоне 300–400 нм, что предполагает наличие хлорогеновой кислоты и производных форм цинарода (лютеозид) [17, 18]. Последний относится к флавоноидоподобным химическим соединениям. Оценивая спектры для воскоподобных веществ экстракта *Taraxacum officinale* W. (фракция 6, рисунок 1, в) в сравнении с другими фракциями необходимо отметить характерный пик в диапазоне длин волн 400–500 нм. Подобные пики присущи группе пигментов, что указывает на наличие в образце веществ каротиноидного ряда [18]. Явно выраженные пики в области 200–300 нм не удалось идентифицировать по конкретному веществу. Однако, основываясь на анализе литературы, можно предположить содержание в образцах веществ карбоксильной группы [19].

Спектрограммы воскоподобных веществ, экстрагируемых из *Trifolium pratense* L. (рисунок 1, в), схожи со спектрами веществ подобного класса, полученных из *Taraxacum officinale* W. Отличие заключается в менее выраженном пике, присущим для пигментов (диапазон 400–500 нм). Наряду с этим, необ-

ходимо отметить, что указанные вещества обнаружены только в образце 6 при минимальном в условиях эксперимента давлении экстракции (8.1 МПа).

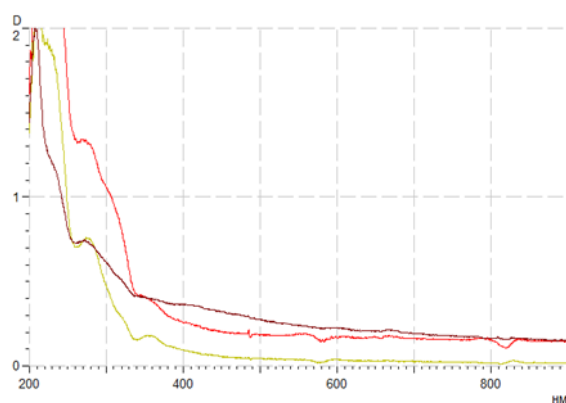
Полученные результаты в представленной работе согласуются с данными других авторов. В работе [20] отмечено наличие в цветах и листьях *Taraxacum officinale* W. производных гидроксикоричной кислоты, в частности хлорогеновой, дикаффеилтартаровой (цикориевой) и монокаффеилтартаровой кислоты. Упоминается присутствие алифатических углеводов с прямой цепью (нонадекана, гексадекана, хейкозана, пентадекана, трикозана, эйкозана и 1-тридецина), фитостеролов (таракастерола и др.) [21]. В химическом составе листьев доминировали тритерпеноиды, лупеол, фитол, бетулин [22].

В *Trifolium pratense* L. обнаружены в значительном количестве флавоноиды, фенольные кислоты [23], из которых ценными компонентами являются изофлавоноиды трифозид, [24], а также производные кверцетина, формонетина и биоханина [25].

Для подтверждения и расширения количественно-качественного состава флюидных экстрактов изучаемого растительного сырья (*Taraxacum officinale* W. и *Trifolium pratense* L.) необходимы дополнительные исследования с использованием других методов анализа, в частности хроматографических.

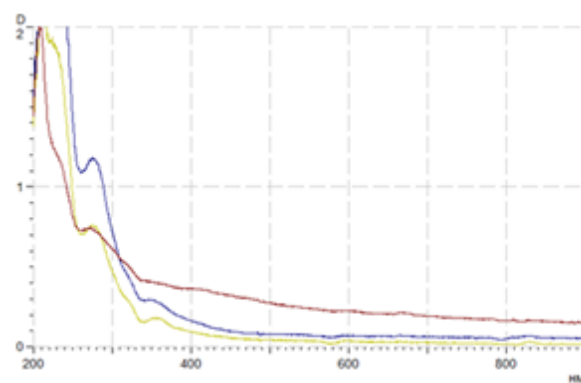
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования позволяют говорить о рациональности применения флюидной экстракции для выделения БАВ из растительного сырья на примере *Taraxacum officinale* W. и *Trifolium pratense* L. Увеличение давления CO₂ приводит к повышению выхода экстрактов с содержанием воскоподобных компонентов. Анализ спектрограмм каждой извлеченной фракции свидетельствует об обнаружении веществ, свойственных изучаемому сырью, что говорит о верификации полученных данных. Флюидные экстракты из *Taraxacum officinale* W. и *Trifolium pratense* L. содержат целевые биологически активные соединения и потенциально могут быть использованы в качестве функциональной составляющей пищевых продуктов, а также биостимулирующих добавок при культивировании микробной массы для получения целевых метаболитов.



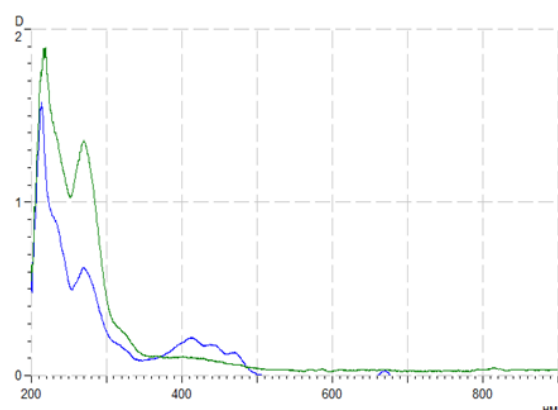
а)

— фракция 3 (1:350); — фракция 1 (1:150);
— фракция 7 (1:50)



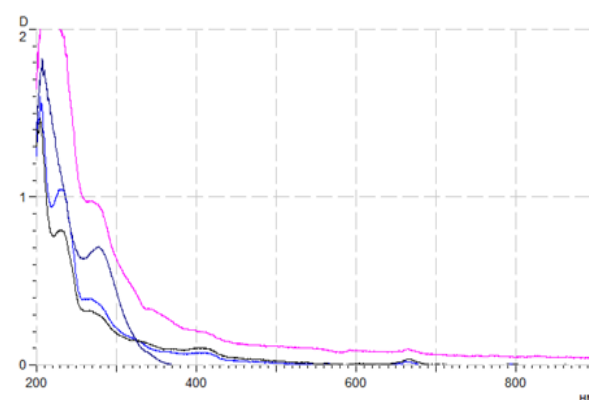
б)

— фракция 4 (1:350); — фракция 2 (1:150);
— фракция 7 (1:150)



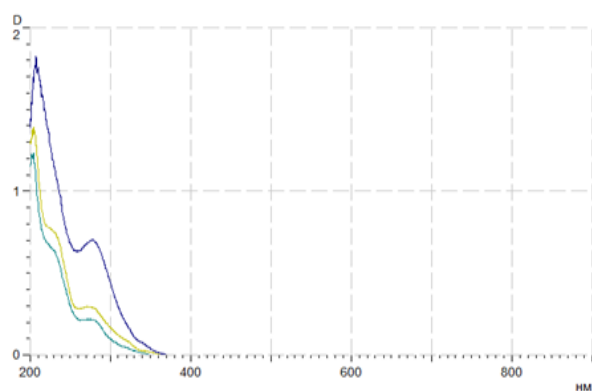
в)

— фракция 5 (1:100); — фракция 6 (1:100)



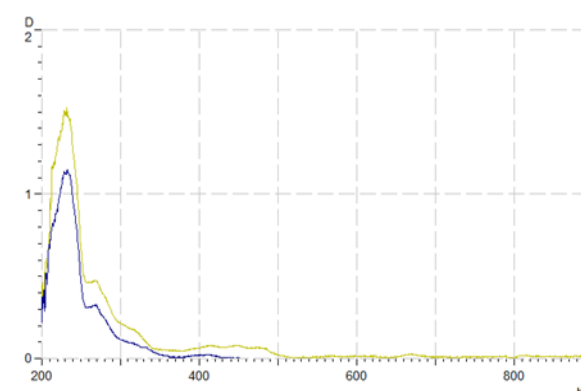
г)

— фракция 4 (1:150); — фракция 3 (1:350); — фракция 5
(1:150); — фракция 8 (1:100)



д)

— фракция 1 (1:350); — фракция 2 (1:350);
— фракция 3 (1:350)



е)

— фракция 6 (1:100); — фракция 7 (1:100)

Рисунок 1 – Спектрограммы отдельных фракций CO₂-экстрактов, полученных из *Taraxacum officinale* W. (а, б, в) и *Trifolium pratense* L. (г, д, е)

Figure 1 – Spectrograms of individual fractions of CO₂ extracts obtained from *Taraxacum officinale* W. (а, б, в) and *Trifolium pratense* L. (г, д, е)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

ФЛЮИДНАЯ ЭКСТРАКЦИЯ КАК СПОСОБ ВЫДЕЛЕНИЯ, ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

1. Herrero M., Ibañez E. Green extraction processes, biorefineries and sustainability: Recovery of high added-value products from natural sources // *The Journal of Supercritical Fluids*. 2018. V. 134. P. 252–259.
2. Abubakar A.R., Haque M. Preparation of medicinal plants: Basic extraction and fractionation procedures for experimental purposes // *Journal of pharmacy and bioallied sciences*. 2020. V. 12. №. 1. P. 1–10. doi: 10.4103/jpbs.JPBS_175_19.
3. Lei Ngo, Cher Haan Lau, Lee Suan Chua, Review on rosmarinic acid extraction, fractionation and its anti-diabetic potential // *Food and Chemical Toxicology*, 2018. V. 121. P. 687–700. ISSN 0278-6915, <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.09.064>.
4. Турманидзе Г.Н. Совершенствование технологий выделения и очистки биологически активных веществ из растительного сырья // *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2023. Т. 12. № 4. С. 71–79. doi: [10.33380/2305-2066-2023-12-4-1585](https://doi.org/10.33380/2305-2066-2023-12-4-1585).
5. Абашкин И.А., Елеев Ю.А., Глухан Е.Н. Методы экстракции биологически активных веществ из растительного сырья (обзор) // *Химия и технология органических веществ*. 2021. № 2. С. 43–59. doi: 10.54468/25876724_2021_2_43.
6. Берлизова В.Н., Козубаева Л.А. Перспективы применения сухих растительных экстрактов в качестве активаторов дрожжей // *Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции*. 2023. С. 10–14.
7. Влияние способа получения экстрактов из зерновых отрубей на ферментативную активность *Saccharomyces cerevisiae* W-34/70 / Пермякова Л.В [и др.] // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2023. № 2. С. 132–145. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.445>.
8. Евстафьев С.Н., Тигунцева Н.П. Биологически активные вещества одуванчика лекарственного *Taraxacum officinale* W. (обзор) // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*, 2014. № 1. С. 18–29.
9. Химический состав гексанового экстракта корней дикорастущего одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale* Wigg., семейство Астровые – Asteraceae) / Платонов В.В. [и др.]. *Вестник новых медицинских технологий*. 2022. Т. 16, № 2. С. 106–126. doi: 10.24412/2075-4094-2022-2-3-3.
10. Челокян М.М. Гидроксикоричные кислоты одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale* W.) // *Разработка, исследование и маркетинг новой фармацевтической продукции*. 2022. С. 213–221.
11. Елисеева Т., Ткачева Н. Клевер (лат. *Trifolium*) // *Журнал здорового питания и диетологии*. 2017. Т. 2. № 2. С. 18–26.
12. Фомичёва Н.С., Карпий К.А. Концентрация галловой кислоты в спиртовых экстрактах листьев клевера красного как маркер негативных экологических факторов // *Молодость. Интеллект. Инициатива*. 2020. С. 108–108.
13. Химический состав цветков красного клевера города Тюмени и поселка Черная речка Тюменской области / Шишкина В.В. [и др.] // *Вестник государственного аграрного университета Северного Зауралья*. 2015. № 2. С. 40–44.
14. Левашов Р.Р., Мингалеева З.Ш. Исследование влияния добавки растительного происхождения на биотехнологические свойства дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* // *Вестник Казанского технологического университета*. 2015. № 18. С. 268–269.
15. Калужина О.Ю. Содержание биологически активных веществ в экстракте одуванчика и его влияние на физиологию дрожжей *saccharomyces cerevisiae* // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2013. № 5 (43). С. 197–199.
16. Лукашова В.В., Лукашов Р.И. Определение оптимальных параметров экстракции гидроксикоричных кислот из одуванчика лекарственного корней // *От растение до лекарственного препарата*. 2020. С. 250–254.
17. Лапина А.С., Куркин В.А. Разработка подходов к стандартизации травы монарды дудчатой // *Фармация*. 2019. Т. 68. № 4. С. 11–16.
18. Тринеева О.В., Сливкин А.И., Сафонова Е.Ф. Определение гидроксикоричных кислот, каротиноидов и хлорофилла в листьях крапивы двудомной (*Urtica dioica* L.) // *Химия растительного сырья*. 2015. № 3. С. 105–110.
19. Куркин В.А., Азнагулова А.В. Фитохимическое исследование надземной части одуванчика лекарственного // *Химия растительного сырья*. 2017. № 1. С. 99–105.
20. Жигалина А.А., Стрелова О.Ю., Гребенюк А.Н. Определение показателей качества и чистоты стандартного образца синтетического генистеина // *Сучасні виклики і актуальні проблеми науки, освіти та виробництва: міжгалузеві диспути* [зб. наук. пр.]: матеріали ХХІІ міжнародної. 2021. С. 400. doi: 10.14258/jcrpm.201503522.
21. Нгуен Т.Ш. Определение содержания изофлавонов в сухом экстракте травы клевера лугового методом вжж // *Вопросы обеспечения качества лекарственных средств*. 2020. № 1. С. 48–53. doi: 10.34907/JPQAI.2020.60.61.006.
22. Anti-inflammatory activity of *Taraxacum officinale* / Jeon H.J. [et al.] // *Ethnopharmacol.* 2008, Jan 4, 115(1), 82–88. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2007.09.006>.
23. Ethnobotany of the genus *Taraxacum* - Phytochemicals and antimicrobial activity / Sharifi-Rad M. [et al.] // *Phytotherapy Research*. 2018. p. 32. № 11. p. 2131–2145.
24. Kamal F.Z. Chemical composition, antioxidant and antiproliferative activity of *Taraxacum officinale* essential oil // *Molecules*. 2022. Т. 27. 19. P. 6477.
25. Vlaisavljevic S., Kaurinovic B., Popovic M., Djurendic-Brenesel M., Vasiljevic B., Cvetkovic D., Vasiljevic S. *Trifolium pratense* L. as a Potential Natural Antioxidant. *Molecules* 2014, 19, 713–725. <https://doi.org/10.3390/molecules19010713>.

Информация об авторах

Л. А. Рябоконев – ассистент кафедры технологии продуктов питания из растительного сырья, младший научный сотрудник лаборатории сверхкритической флюидной экстракции, аспирант кафедры технологии продуктов питания из растительного сырья Кемеровского государственного университета.

Л. В. Пермякова – доктор технических наук, профессор кафедры технологии продуктов питания из растительного сырья Кемеровского государственного университета.

И. Ю. Сергеева – доктор технических наук, заведующая кафедрой технологии продуктов питания из растительного сырья, старший научный сотрудник лаборатории сверхкритической флюидной экстракции Кемеровского государственного университета.

А. С. Марков – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продуктов питания из растительного сырья, заведующий лабораторией сверхкритической флюидной экстракции Кемеровского государственного университета.

REFERENCES

1. Herrero, M. & Ibañez, E. (2018). Green extraction processes, biorefineries and sustainability: Recovery of high added-value products from natural sources. *The Journal of Supercritical Fluids*. (134). 252-259.
2. Abubakar, A.R., & Haque, M. (2020). Preparation of medicinal plants: Basic extraction and fractionation procedures for experimental purposes. *Journal of pharmacy and bioallied sciences*. (1). 1-10. doi: 10.4103/jpbs.JPBS_175_19.
3. Lei, Ngo, Cher, Haan Lau & Lee, Suan Chua, (2018). Review on rosmarinic acid extraction, fractionation and its anti-diabetic potential. *Food and Chemical Toxicology*.

gy, (121). 687-700. ISSN 0278-6915, <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.09.064>.

4. Turmanidze, G.N. (2023). Improvement of technologies for the isolation and purification of biologically active substances from plant raw materials. *Development and registration of medicines*, T. 12. (4.). 71-79 doi.org/10.33380/2305-2066-2023-12-4-1585. (in Russian).

5. Abashkin, I.A. Eleev, Yu.A. & Glukhan, E.N. (2021). Methods of extraction of biologically active substances from plant raw materials (review). *Chemistry and technology of organic substances*, (2). 43-59. [doi: 10.54468/25876724_2021_2_43](https://doi.org/10.54468/25876724_2021_2_43). (in Russian).

6. Berlizova, V.N. & Kozubaeva, L.A. (2023). Prospects for the use of dry plant extracts as yeast activators. *Modern aspects of production and processing of agricultural products*. 10-14. (in Russian).

7. Permyakova, L.V. Sergeeva, I.Yu., Korotky, I.A. & Lashitsky, S.S. (2023). Influence of the method of obtaining extracts from grain bran on the enzymatic activity of *Saccharomyces Cerevisiae* W-34/70. *Storage and processing of agricultural raw materials*, (2). 132-145. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.445>. (in Russian).

8. Evstafiev, S.N. & Tiguntseva, N.P. (2014). Biologically active substances of dandelion *Taraxacum officinale* W. (review) // *News of universities. Applied chemistry and biotechnology*, (6). 18-29. (in Russian).

9. Platonov, V.V., Khadartsev, A.A., Valentinov, B.G., Sukhikh, G.T., Dunaev, V.A. & Volochaeva, M.V. (2022). Chemical composition of hexane extract of the roots of wild dandelion (*Taraxacum officinale* Wigg., Asteraceae family). *Bulletin of new medical technologies*. T. 16, (2). 106-126. [doi : 10.24412/2075-4094-2022-2-3-3](https://doi.org/10.24412/2075-4094-2022-2-3-3). (in Russian).

10. Chelokyan, M.M. (2022). Hydroxycinnamic acids of dandelion (*Taraxacum officinale* W.). *Development, research and marketing of new pharmaceutical products*. 213-221. (in Russian).

11. Eliseeva, T. & Tkacheva, N. (2017). Clover (lat. *Trifolium*). *Journal of healthy nutrition and dietology*. T. 2 (2). 18-26. (in Russian).

12. Fomicheva, N.S. & Karpiy, K.A. (2020). Concentration of gallic acid in alcohol extracts of red clover leaves as a marker of negative environmental factors // *Molodost. Intelligence. Initiative*, 108-108. (in Russian).

13. Shishkina, S.A., Pashayan, K.A., Sidorova, M.V. & Kalashnikova, M.B. (2015). Chemical composition of red clover flowers in the city of Tyumen and the village of Chernaya Rechka, Tyumen region. *Bulletin of the State Agrarian University of the Northern Trans-Urals*, (2). C. 40-44. (in Russian).

14. Levashov, R.R. & Mingaleeva, Z.Sh. (2015). Study of the influence of additives of plant origin on the biotechnological properties of the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Bulletin of the Kazan Technological University*, (18). 268-269. (in Russian).

15. Kaluzhina, O.Yu. (2013). The content of biologically active substances in dandelion extract and its effect on the physiology of the yeast *saccharomyces cerevisiae*. *News of the Orenburg State Agrarian University*, (43). 197-199. (in Russian).

16. Lukashenya, V.V. & Lukashov, R.I. (2020). Determination of optimal parameters for the extraction of hydroxycinnamic acids from dandelion roots // *From plant to medicinal product*. 250-254. (in Russian).

17. Lapina, A.S. & Kurkin, V.A. (2019). Development of approaches to standardization of the herb *Monarda fistula*. *Pharmacy*. T. 68. (4). 11-16. (in Russian).

18. Trineeva, O.V., Slivkin, A.I. & Safonova, E.F. (2015). Determination of hydroxycinnamic acids, carotenoids and chlorophyll in the leaves of stinging nettle (*Urtica dioica* L.). *Chemistry of plant raw materials*, (3). 105-110. (in Russian).

19. Kurkin, V.A. & Aznagulova, A.V. (2017.) Phytochemical study of the aerial part of the medicinal dandelion. *Chemistry of plant raw materials*, (1). 99-105. (in Russian).

20. Zhigalina, A.A., Strelova, O.Yu. & Grebenyuk, A.N. (2021). Determination of quality indicators and purity of a standard sample of synthetic genistein. *Daily news and current problems of science, coverage and development: intergalactic disputes [zb. Sci. etc.] : materials of the XXII International Conference*. P. 400-410. [Doi : 10.14258/jcpm.201503522](https://doi.org/10.14258/jcpm.201503522).

21. Nguyen, T.Sh. (2020). Determination of the content of isoflavones in the dry extract of red clover grass by HPLC // *Issues of ensuring the quality of medicines*, (1). 48-53. [Doi : 10.34907/JPQAI.2020.60.61.006](https://doi.org/10.34907/JPQAI.2020.60.61.006). (in Russian).

22. Jeon, H.J., Kang, H.J., Jung, H.J., Kang, Y.S., Lim, C.J., Kim, Y.M. & Park, E.H. (2008). Anti-inflammatory activity of *Taraxacum officinale*. *Ethnopharmacol*, (1), 82-88. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2007.09.006>.

23. Harifi-Rad, M., Roberts, T.H., Matthews, K.R., Bezerra, C.F., Morais-Braga, M.F.B., Coutinho, H.D.M., Sharopov, F., Salehi, B., Yousaf, Z., Sharifi-Rad, M., Del Mar Contreras, M., Varoni, E.M., Verma, D.R., Iriti, M. & Sharifi-Rad, J. (2018). Ethnobotany of the genus *Taraxacum*-Phytochemicals and antimicrobial activity. *Phytother Res*. 32(11)/ 2131-2145. [doi : 10.1002/ptr.6157](https://doi.org/10.1002/ptr.6157). 30039597.

24. Kamal, F.Z., Lefter, R., Mihai, C.T., Farah, H., Ciobica, A., Ali, A., Radu, I., Mavroudis, I. & Ech-Chahad, A. (2020). Chemical Composition, Antioxidant and Antiproliferative Activities of *Taraxacum officinale* Essential Oil // *Molecules*. 27(19): 6477. [doi : 10.3390/molecules27196477](https://doi.org/10.3390/molecules27196477). PMID: 36235013; PMCID: PMC9572089.

25. Vlaisavljevic, S., Kaurinovic, B., Popovic, M., Djurendic-Brenesel, M., Vasiljevic, B., Cvetkovic, D. & Vasiljevic, S. (2014). *Trifolium pratense* L. as a Potential Natural Antioxidant. *Molecules*, (19), 713-725. <https://doi.org/10.3390/molecules19010713>.

Information about the authors

L.A. Ryabokoneva - assistant at the Department of Plant-Based Food Technology, junior researcher at the Laboratory of Supercritical Fluid Extraction, graduate student of Department of Plant-Based Food Technology, Kemerovo State University.

L.V. Permyakova - Doctor of Engineering, Professor of the Department of Plant-Based Food Technology, Kemerovo State University.

I.Yu. Sergeeva - Doctor of Engineering, Head of the Department of Plant-Based Food Technology, Senior Researcher at the Laboratory of Supercritical Fluid Extraction, Kemerovo State University.

A.S. Markov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Plant-Based Food Technology, Head of the Laboratory of Supercritical Fluid Extraction, Kemerovo State University.

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

Статья поступила в редакцию 07 июня 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 07 June 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.

Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664:637.123

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.005



РАЗРАБОТКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СВОЙСТВ НОВОГО БИОПЕПТИДА ДЛЯ ДИЕТИЧЕСКОГО ПИТАНИЯ

Сергей Леонидович Тихонов¹, Наталья Валерьевна Тихонова²,
Ольга Олеговна Бабич³, Станислав Алексеевич Сухих⁴,
Евгений Борисович Сысуев⁵, Дарья Александровна Зверева⁶

^{1,2} Уральский государственный аграрный университет, Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

¹ tihonov75@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4863-9834>

² tihonov75@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5841-1791>

^{3,4} Балтийский федеральный университет, Калининград, Россия

³ olich.43@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4921-8997>

⁴ stas-aspm@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7910-8388>

⁵ Филиал ФГБУ «ВНИИИМТ» Росздравнадзора в г. Екатеринбург, Екатеринбург, Россия

⁵ es555@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7648-0088>

^{1,6} Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

⁶ dshz456@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-5033-2044>

Аннотация. Пептиды играют ключевую роль в пищевой промышленности и фармацевтике, однако их применение в диетических и клинических целях часто ограничивается низкой стабильностью в организме. Авторами работы предложен новый «сшитый» биопептид GD-20, синтезированный на основе циклического пептида [Nphe5]SFTI-1(100). Анализ аминокислотного состава, молекулярной массы и структуры свидетельствуют о значительном терапевтическом потенциале GD-20 и его высокой устойчивости к протеолизу. Значение показателя Fsp^3 (0,78) указывает на перспективность использования пептида в качестве биологически активного вещества, устойчивого к протеолизу в желудочно-кишечном тракте. Установлено, что GD-20 не содержит антигенных детерминант, а значит, не вызывает аллергических реакций, что делает его безопасным для применения в составе пищевых продуктов диетического и профилактического назначения. Прогнозируемая высокая биологическая активность пептида (0,916819 ед. при максимальной 1,0 ед.) подтверждает его потенциал в качестве функционального ингредиента, обеспечивающего профилактику сахарного диабета 2 типа. Полученные результаты подтверждают возможность разработки новых, устойчивых к деградации пептидов с улучшенными фармакокинетическими характеристиками.

Ключевые слова: профилактическое питание, диетическое питание, функциональные ингредиенты, сахарный диабет второго типа, пептиды, синтез пептидов, макроциклизация, лактамизация.

Финансирование: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 25-16-00178), Соглашение № 25-16-00178 подписано 29.05.2025.

Для цитирования: Разработка и прогнозирование свойств нового биопептида для диетического питания / С. Л. Тихонов [и др.] // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 31–38. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.005. EDN: <https://elibrary.ru/MSGTOG>.

Original article

DEVELOPMENT AND PREDICTION OF PROPERTIES A NEW BIOPEPTIDE FOR DIETARY NUTRITION

Sergey L. Tikhonov¹, Natalya V. Tikhonova², Olga O. Babich³, Stanislav A. Suhikh⁴,
Evgeny B. Sysuev⁵, Darya A. Zvereva⁶

^{1,2} Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia

¹ tihonov75@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4863-9834>

² tihonov75@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5841-1791>

^{3,4} Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

³ olich.43@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4921-8997>

⁴ stas-aspm@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7910-8388>

⁵ FSBI "VNIIMT" Roszdravnadzor in Yekaterinburg, Yekaterinburg, Russia

⁵ bes555@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7648-0088>

© Тихонов С. Л., Тихонова Н. В., Бабич О. О., Сухих С. А., Сысуев Е. Б., Зверева Д. А., 2025

^{1, 6} Ural State Forestry Engineering University, Yekaterinburg, Russia

⁶ dshz456@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-5033-2044>

Abstract. *Peptides play a key role in the pharmaceutical and food industries, but their clinical use is often limited by their low stability in the body. This paper presents a new biopeptide GD-20 synthesized on the basis of cyclic peptide [Nphe5]SFTI-1(100). Analysis of the amino acid composition, molecular weight and structure showed that this peptide has a high resistance to proteolysis and significant therapeutic potential. Its Fsp3 index (0.78) indicates a promising use in oral preparations. It has been established that GD-20 does not contain antigenic determinants, which means it does not cause allergic reactions, which makes it safe for use as a biologically active substance. The high predicted biological activity of the peptide (0.916,819 units at a maximum of 1.0) confirms its potential. Due to these properties, GD-20 can be considered as a promising functional ingredient in food products aimed at preventing type 2 diabetes. The results obtained confirm the possibility of developing new degradation-resistant peptides with improved pharmacokinetic characteristics.*

Keywords: *biologically active peptides, macrocyclization, lactamization, antimicrobial activity, type 2 diabetes mellitus, oral administration.*

Financing: *The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation (project No. 25-16-00178), Agreement No. 25-16-00178 was signed on 05/29/2025.*

For citation: Tikhonov, S.L., Tikhonova, N.V., Babich, O.O., Sukhih, S.A., Sysuev, E.B. & Zvereva, D.A. (2025). Development and prediction of properties of a new biopeptide for dietary nutrition. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 31-38. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.005. EDN: <https://elibrary.ru/MSGTOG>.

ВВЕДЕНИЕ

Пептиды играют важную роль в развитии современной фармацевтической промышленности и создании принципиально новых продуктов питания профилактического и диетического назначения [1]. На сегодняшний день около 80 представленных на мировом рынке пептидных препаратов используются для лечения и профилактики различных заболеваний, включая рак, диабет, остеопороз и вирусные инфекции. Разработка новых пептидных препаратов, пригодных к использованию в качестве фармацевтических препаратов и функциональных ингредиентов, продолжается. В настоящее время около 150 пептидов находятся на стадии клинических испытаний, более 400 пептидов проходят доклинические исследования [2].

Несмотря на существенный прогресс в разработке пептидных препаратов в последние годы, их недостатки, такие как протеолиз в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ), короткий период полувыведения, слабое проникновение в клетки и конформационная гибкость, снижают их сродство к конкретным мишеням и препятствуют их быстрому внедрению в пищевую отрасль. Чтобы преодолеть связанные с перечисленными недостатками ограничения к прикладному использованию пептидов, разработано несколько стратегий их химической модификации [3–6]. Эти подходы включают N-концевую капацию, замену D-аминокислот, пегилирование, липидизацию и макроциклизацию [7]. Макроциклизация повышает гидролитическую стабильность пептидов и их проникновение в клетку-мишень. Однако включение в рецептуры пищевых продуктов и обеспечение стабильности пептидов в ЖКТ остается сложной задачей, побуждающей исследователей детально изучать взаимосвязь физико-химических свойств пептидов с их метаболизмом и биологической активностью [8].

Стратегия сшивки является одним из наиболее распространенных методов макроциклизации, основанном на усилении α-спиральной конформации пептида [9].

В целом, метод пептидной сшивки – это стратегия, которая предполагает сшивание боковой цепи аминокислотного остатка с концом пептида или с боковой цепью аминокислотного остатка в нативном пептиде [10]. Две выбранные или замененные аминокислоты должны быть расположены на одной и той же спиральной поверхности, тогда их боковые цепи могут быть ковалентно сшиты друг с другом [11, 12].

Для каждых 3,6 остатков в α-спиралях положения $i/i+3$, $i/i+4$ (однооборотная скоба), $i/i+7$ (двухоборотная скоба) и $i/i+11$ (трехоборотная скоба) выровнены вдоль одной и той же спиральной поверхности, и ковалентное соединение каждой из этих боковых цепей может стабилизировать спиральную конформацию (рисунок 1А). При разработке пептидных сшивающих агентов (рисунок 1В) углеводородное сшивание считается одним из наиболее перспективных подходов в обеспечении стабильности пептидов к протеолизу [13].

Помимо углеводородных сшивающих агентов, за последние 20 лет исследовано множество стратегий сшивания, использующих различные формы макроциклизации. Благодаря развитию стратегий пептидного сшивания, новые пептиды используются для разработки лекарств с четко определёнными мишенями, в том числе внутри- и внеклеточными, в основном для регулирования белок-белковых взаимодействий (ББВ), рисунок 2А [14, 15]. До 40 % ББВ происходят между белковым доменом и короткой пептидной структурной областью, в то время как остальные 60 % пептидов связываются с белком в спиральных или спиралевидных конформациях [16]. Кроме того, сшитые спиральные пептиды привлекают большое внимание из-за их повышенной аффинности к белкам-мишеням, улучшенного проникновения в клетки и устойчивости к протеолизу [17, 18]. Такие пептиды, в основном, работают по принципу электростатических взаимодействий для связывания с отрицательно заряженными клеточными мембранами и дальнейшего разрушения их за счет своего активного воздействия.

На рисунке 2 представлены методы сшивания пептидов. В настоящее время появилось множество новых методов сшивки для синтеза сшитых пептидов с использованием ненатуральных аминокислот, натуральных аминокислот или комбинации ненатуральных и натуральных аминокислот. Метод циклизации исходной пептидной боковой цепи (рисунок 2А) основан на реакции между натуральными аминокислотами [19].

Лактамизация – эта стратегия образования лактамного мостика между входящими в структуру пептида аминокислотными остатками лизина и аспарагина или глутамина (рисунок 2А) [20]. Хотя лактамовые мостики Asp-Lys и Lys-Asp тоже повышают стабильность спирали, предпочтительнее использовать лактамы Lys-Asp из-за их более выраженного эффекта индукции спирали.

РАЗРАБОТКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СВОЙСТВ НОВОГО БИОПЕПТИДА ДЛЯ ДИЕТИЧЕСКОГО ПИТАНИЯ

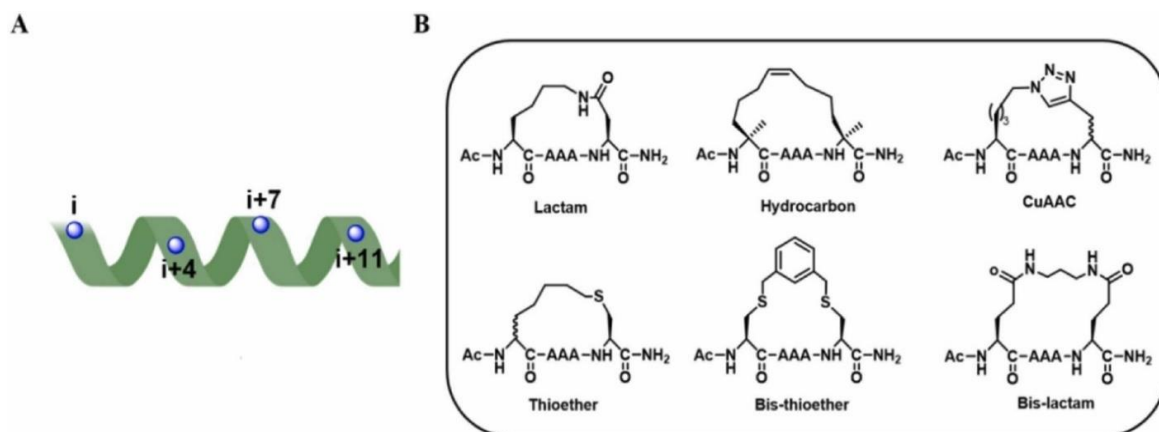
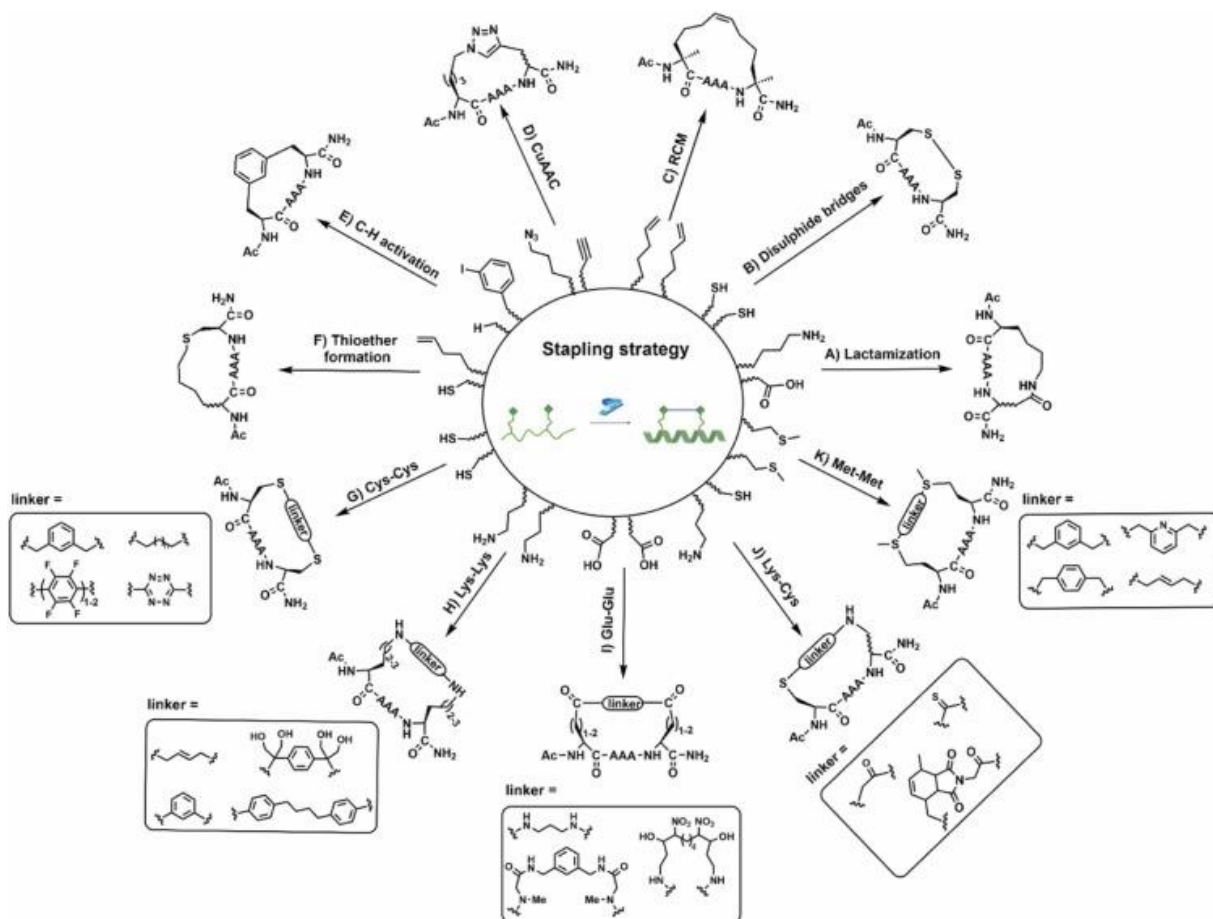


Рисунок 1 А – Аминокислотные остатки на одной и той же поверхности спирали показаны зеленым цветом с интервалом $i, i+4/7/11$. В – Стратегии сшивания с использованием различных химических реакций макроциклизации

Figure 1 A – Amino acid residues on the same surface of the spiral are shown in green with an interval of $i, i+4/7/11$.
B – Bonding strategies using various chemical macrocyclization reactions



А – лактамизация, В – дисульфидный мостик между двумя остатками цистеина, С – метатезис с замыканием цикла, D – циклоприсоединение азидо-алкина, катализируемое медью (I), Е – активация C-H, катализируемая палладием, F – образование тиоэфира, G – сшивание с инициализацией Cys-Cys, H – сшивание с инициализацией Lys-Lys, I – сшивание с инициализацией Glu-Glu, J – сшивание с инициализацией Lys-Cys, K – сшивание с инициализацией Met-Met

Рисунок 2 – Типичные однокомпонентные и многокомпонентные стратегии сшивки для получения сшитых пептидов [19]

A – Lactamization, B – A disulfide bridge between two cysteine residues, C – Loop-closure metathesis, D – Azide-alkyne cycloaddition catalyzed by copper (I), E – C-H activation catalyzed by palladium, F – Thioether formation, G – Cys-Cys initialized stitching strategy, H – Lys-Lys initialized stitching strategy, I – Glu-Glu initialized stitching strategy, J – Lys-Cys initialized stitching strategy, K – Met-Met initialized stitching strategy

Figure 2 – Typical single-component and multicomponent crosslinking strategies for obtaining crosslinked peptides [19]

Помимо лактамизации между Lys и Asp/Glu, два остатка лизина также могут выступать в качестве сшивающих аминокислот при пептидной сшивке, опосредованной двухкомпонентной (2H) лактамизацией [21].

Оптимальная стабильность пептидной спирали, достигнутая сшиванием по Lys-Lys положительно коррелирует с поперечными связями, обладающими достаточной жёсткостью и длиной. Подобно Lys-Lys в качестве сшивающих остатков, парные остатки Glu-Glu, закреплённые на пептиде, также могут образовывать билактаммы путём формирования бисамида (рисунок 2G) [22].

Кольцевая метатеза образует макроцикл, соединённый двойной связью, при этом теряется молекула этилена (рисунок 2C) [23]. Эта стратегия также широко используется для повышения биоактивности и стабильности пептидов к действию ферментов [18].

Реакция активации C-H используется для создания связи C(sp³)-C(sp²) между арильными группами в йодсодержащем фенилаланине и β-углеродом в аланине, с фталатной защитой аминокислоты (рисунок 2E). Циклизация различных тетрапептидов с использованием C-концевого м-йодсодержащего фенилаланина и N-концевого аланина в жидкой фазе показала, что реакция активации C-H подходит почти для всех природных аминокислот, содержащих защищённые или незащищённые группы и хорошо протекает в твёрдой фазе при переносе из раствора. Кроме того, с помощью реакции активации C-H на смоле можно получить сшивки длиной в 6 или 7 атомов, где парные остатки аланина и фенилаланина не находятся на N-конце или C-конце соответственно. Эта стратегия позволяет напрямую сшивать сложные пептиды с помощью реакции активации C-H и закладывает основу для получения новых пептидов сшиванием [24]. Стратегия сшивания, инициализированная двумя фрагментами цистеина, в основном включает Cys-алкилирование и Cys-арилирование, которые могут быть легко и удобно получены путём сшивания двух тиолов подходящими бифункциональными агентами (рисунок 2F).

Синтез пептидов, скреплённых Cys-Cys, обычно начинается с обычной твердофазной сборки и расщепления с общим снятием защиты для получения незащищённого предшественника пептида, за которым следуют две циклизации тиола в растворах с подходящими бифункциональными линкерами. Восстанавливающие реагенты обычно инкубируют с линейными пептидными предшественниками, содержа-

щими цистеин, перед сшиванием, чтобы избежать дополнительного окисления. Хотя для стратегии сшивания с использованием цистеина-цистеина может потребоваться дополнительный этап синтеза и, возможно, один дополнительный этап очистки, этот подход позволяет избежать использования дорогостоящих ненатуральных аминокислот или аминокислот, содержащих ортогональные защитные группы. Ещё одним преимуществом стратегии сшивания Cys-Cys является возможность модифицировать и функционализировать сшитые пептиды с помощью легко модифицируемого сшивающего агента [25].

Но, прежде чем синтезировать новый пептид, целесообразно спрогнозировать его свойства и биологическую активность.

Цель исследования – проектирование нового сшитого биопептида и прогнозирование его физико-химических и биологических свойств в качестве физиологически функционального ингредиента.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объекта исследований использовали синтезированный нами сшитый пептид GD-20 с последовательностью аминокислот GRCTXSGPGPTCPPICFFD. Пептид был получен на основе циклического пептида [Nphe5]SFTI-1(100) из базы данных циклических пептидов (<https://cybase.org.au/>). Синтез сшитого пептида проводился в компании Pepmic (Китай) твердофазным методом Fmoc, после чего осуществлялась очистка пептида посредством высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с применением хроматографической колонки SHIMADZU Inertsil ODS-SP (SHIMADZU, Япония). Прогнозирование токсичности и биологических свойств пептида выполнено на основе данных ресурсов: Peptide Ranker (<http://distilldeep.ucd.ie/PeptideRanker/>), APD (<https://aps.unmc.edu/home/>), Peptide Property Calculator (<http://pepcalc.com/>) (Awesome Labs LLC, США) и платформы ADMET (<https://admetmesh.scbdd.com/>). Антигенность (аллергенность) пептида оценивали по программе Токсипред (<http://imed.med.ucm.es/Tools/antigenic.pl>). Идентификацию пептида проводили по базе данных EROP-Moscow (<http://erop.inbi.ras.ru/index.html>). Прогнозирование токсичности, биологических свойств, метаболизма, распределения в организме, выведения нового пептида проводили на платформе ADMET1 ab 3 (<https://admetlab3.scbdd.com/documentation/#/>).

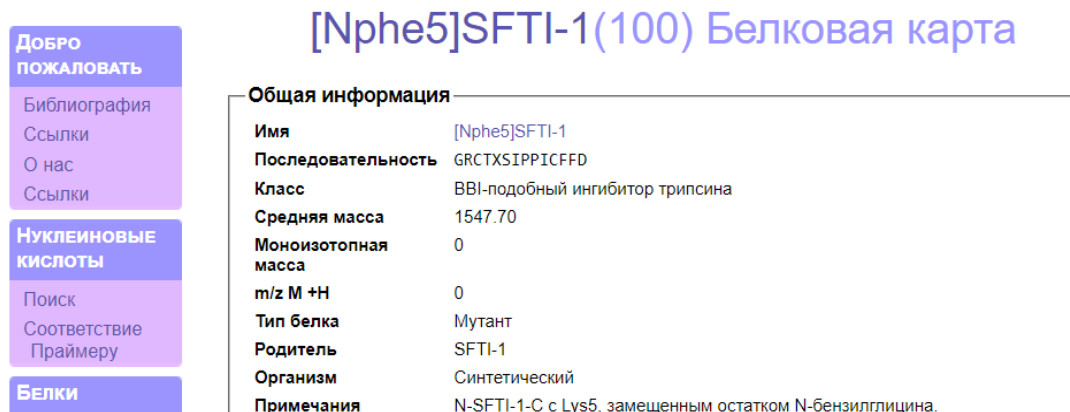


Рисунок 3 – Протеомная карта пептида [Nphe5]SFTI-1(100) (<https://cybase.org.au/>)

Figure 3 – Proteomic map of the peptide [Nphe5]SFTI-1(100) (<https://cybase.org.au/>)

РАЗРАБОТКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СВОЙСТВ НОВОГО БИОПЕПТИДА ДЛЯ ДИЕТИЧЕСКОГО ПИТАНИЯ

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для получения нового сшитого пептида в аминокислотную последовательность циклического пептида [Nphe5]SFTI-1(100) (рисунок 3) с помощью молекулярной пептидной трансплантации была последовательно встроена GPGPT, усиленная двумя дисульфидными мостиками по стратегии сшивания Cys-Cys [25], что позволило придать пептиду функциональность за счет обеспечения аминокислотной последовательности GPGPT, имеющей свойства агониста рецепторов глюконоподобного пептида 1 (GLP-1) и перорального ингибитора натрий-глюкозного котранспортера 2 (SGLT-2) [26]. Включение выше указанной последовательности дает возможность создать пептид для профилактики и лечения сахарного диабета 2 типа (СД 2). Последовательность GPGPT входит в состав сшитого, длительно действующего пептида xGLP/GCG-13, двойного агониста рецепторов GLP-1/глюкагона, проявляющего высокую терапевтическую эффективность при метаболических заболеваниях [27].

Прежде чем синтезировать вышеуказанный пептид, нами проведено прогнозирование его токсичности по программе определения антигенности (аллергенность) пептида (рисунок 4). Согласно прогнозной оценке, новый пептид не содержит антигенных детерминант и, соответственно, не аллергенен для применения в качестве биологически активного вещества направленного действия. Такой пептид можно рассматривать в качестве функционального ингредиента для продуктов питания, направленных на профилактику СД 2.

При прогнозировании биологической активности пептида по пептидному калькулятору (<http://pepcalc.com>) нами установлено, что она является высокой: составля-

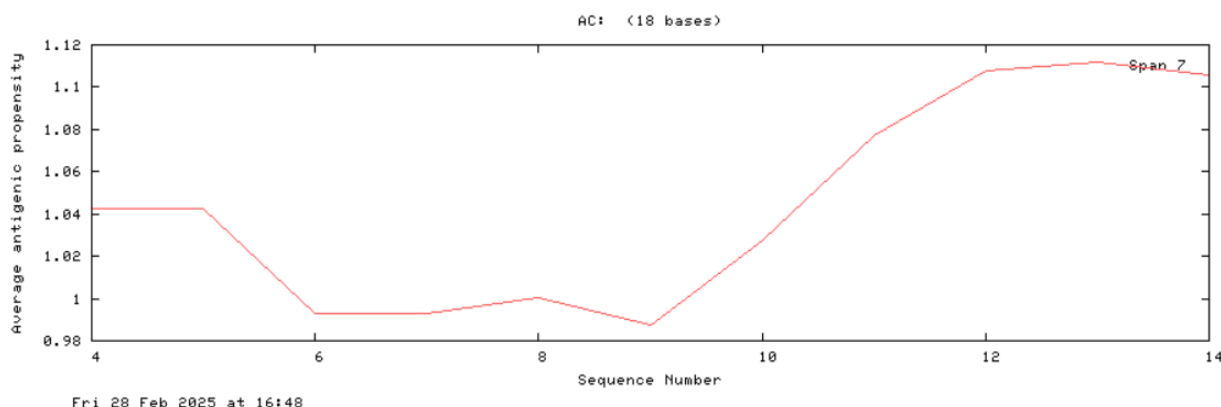
ет 0,916819 ед. при максимальной 1,0 (рисунок 5). Поиск пептидов по протеомной базе данных EROP-Москва результатов не дал, что свидетельствует об уникальности разработанного пептида (рисунок 6).

Согласно протеомной базе APD, аминокислотный состав пептида включает гидрофобные аминокислоты: I, C; отрицательно заряженные: D, положительно заряженные: R. Суммарный заряд пептида – нейтральный. Молекулярная масса составляет 2071,458 Да. Поскольку такая последовательность содержит четное количество Cys, она может образовывать связанную дильсульфидной связью дефениноподобную бета-структуру; спиральные структуры, содержащие связи S-S, обеспечивая устойчивость нового пептида к протеолизу.

К важным показателям прогнозной оценки эффективности клинического применения новых веществ в фармацевтической практике относится Fsp³ – количество sp³-гибридизованных атомов углерода / общее количество атомов углерода, используемое для определения насыщенности молекул углеродом и характеристики пространственной структуры молекул. Высокая насыщенность, измеряемая с помощью Fsp³, и количество хиральных центров в молекуле свидетельствуют о потенциальной эффективности клинического применения полученного пептида, что связано с повышенной растворимостью и тем, что трёхмерные характеристики позволяют небольшим молекулам занимать больше места в мишени. Fsp³ более 0,42 ед. считается высоким значением и позволяет эффективно применять вещество в клинической практике [28]. У исследуемого пептида рассматриваемый показатель составляет 0,78 ед., что свидетельствует о его высокой потенциальной клинической эффективности.

Средняя антигенная активность этого белка составляет 1,0421

Антигенный график для определения последовательности



В вашей последовательности 0 антигенных детерминант:

Рисунок 4 – Результаты оценки антигенности пептида

Figure 4 – Results of the peptide antigenicity assessment

Пептидный очиститель

Ваш запрос (ID 174075470938870) обработан

Ответ:

0,916819 GRCT5ICGPGPTCPPICFFD

Рисунок 5 – Результаты предсказания биологической активности пептида GD-20

Figure 5 – Results of predicting the biological activity of the GD-20 peptide

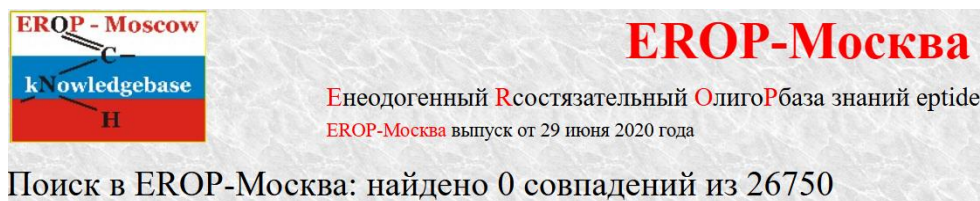


Рисунок 6 – Результаты идентификации пептида GD-20 по базе данных EROP-Москва

Figure 6 – Results of identification of the GD-20 peptide from the EROP-Moscow database

Прежде чем перорально применяемый пептид попадает в системный кровоток, он должен пройти через клеточные мембраны кишечника путем пассивной диффузии, опосредованной переносчиками поглощения или процессов активного транспорта. Для оценки проницаемости пептида *in vivo* используются клеточные линии аденокарциномы толстой кишки человека (Caco-2) из-за их морфологического и функционального сходства. Прогнозируемая проницаемость Caco-2 измеряется в логарифмических сантиметрах в секунду. Исследуемое вещество обладает необходимой проницаемостью клеток Caco-2, если его прогнозируемое значение превышает 5,15 логарифмических сантиметров в секунду. У нашего пептида данное значение составляет 7,94 логарифмических сантиметра в секунду. Следовательно, новый пептид способен всасываться в стенки кишечника и проникать в кровоток.

Кроме этого, проведен анализ проницаемости пептидом искусственной мембраны (PAMPA). Этот метод используется для имитации пассивной диффузии биологически активных веществ в ЖКТ. Проницаемость выражается в единицах 10^{-6} см/с. Рассматривая PAMPA в сочетании с исследованием Caco-2, можно получить более точный прогноз характеристик проникновения и всасывания пептида в организме. Полученные экспериментальные данные на платформе ADMET1 ab 3 преобразовываются в логарифмическую форму (log). Молекулы со значениями log ниже 2,0 относятся к категории с низкой проницаемостью (категория 0), от 2,0 до 2,5 – средней проницаемостью, а молекулы со значениями log более 2,5 – с высокой проницаемостью (категория 1). Исследуемый пептид по показателю PAMPA относится к веществам с высокой проницаемостью ЖКТ, так как имеет значение 2,9 ед.

Клетки Madin–Darby Canine Kidney (MDCK) используются в качестве модели для оценки проницаемости ЖКТ в моделях *in vitro*. На клетках MDCK определяют коэффициент проницаемости (Papp), принятый за «золотой стандарт» в оценке эффективности поглощения химических веществ организмом *in vitro*. Единица измерения прогнозируемой проницаемости MDCK – см/с. Соединение считается обладающим высокой пассивной проницаемостью MDCK, если $Papp > 20 \times 10^{-6}$ см/с, средней проницаемостью – при

$2-20 \times 10^{-6}$ см/с, низкой проницаемостью – если $< 2 \times 10^{-6}$ см/с. Papp у исследуемого пептида составляет 24×10^{-6} см/с, что свидетельствует о его высокой проницаемости ЖКТ. То есть, полученные результаты согласуются с исследованиями показателя PAMPA и проницаемостью клеток Caco-2.

К критериям оценки клинической эффективности пептида относятся показатели биодоступности. Плазменный клиренс (*CL plasma*) является наиболее важным фармакокинетическим параметром, так как выражает способность организма выводить вещество, масштабируя скорость выведения (количество за единицу времени) на соответствующий уровень концентрации в плазме. Эмпирические диапазоны для *CL plasma* определяются следующим образом: более 15 мл/мин/кг означает высокий клиренс, 5–15 мл/мин/кг означает умеренный (средний) клиренс, а менее 5 мл/мин/кг означает низкий клиренс. *CL plasma* у разработанного нами пептида на уровне 5,3 мл/мин/кг позволяет рассчитать его дозировку в качестве функционального ингредiente, но при этом необходимо учитывать минимальную концентрацию для проявления биологического действия.

Одним из важных показателей метаболизма пептидов является период полувыведения ($T_{1/2}$) – гибридный показатель, включающий клиренс и объем распределения. Единица измерения прогнозируемого $T_{1/2}$ – часы. У веществ с коротким периодом полувыведения $T_{1/2}$ менее 1 часа; веществ с коротким периодом полувыведения $T_{1/2}$ от 1 до 4 часов; веществ с промежуточным коротким периодом полувыведения $T_{1/2}$ от 4 до 8 часов; веществ с длительным периодом полувыведения $T_{1/2}$ – более 8 часов. У разработанного пептида период полувыведения составляет 4,7 часа.

Таким образом, комплекс свойств нового пептида свидетельствует, что он обладает высокой биодоступностью и необходимыми характеристиками проницаемости через стенки ЖКТ, метаболизма и выведения.

Методом трехфазного синтеза в лабораторных условиях получен новый пептид. Хроматограмма и масс-спектр пептида GD-20 представлены на рисунках 7 и 8, свидетельствующие о том, что синтезированный пептид соответствует разработанному: состоит из 20 аминокислот в заданной последовательности.

РАЗРАБОТКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СВОЙСТВ НОВОГО БИОПЕПТИДА ДЛЯ ДИЕТИЧЕСКОГО ПИТАНИЯ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований предложен новый циклический биологически активный и устойчивый к протеолизу в ЖКТ пептид. В состав пептида встроен биологически активный фармакофор антидиабетической направленности.

Результаты прогнозирования метаболизма, выве-

дения и биодоступности позволяют заключить, что пептид можно использовать для перорального применения и вводить в рецептуру пищевой продукции диетического и профилактического назначения, но при условии предварительного подтверждения его клинической эффективности в экспериментах *in vitro* и *in vivo*.

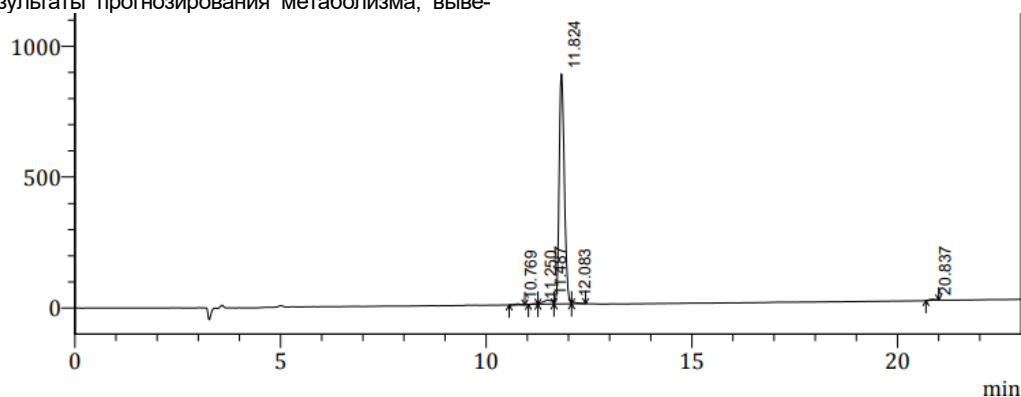


Рисунок 7 – Хроматограмма пептида GD-20

Figure 7 – Chromatogram of the GD-20 peptide

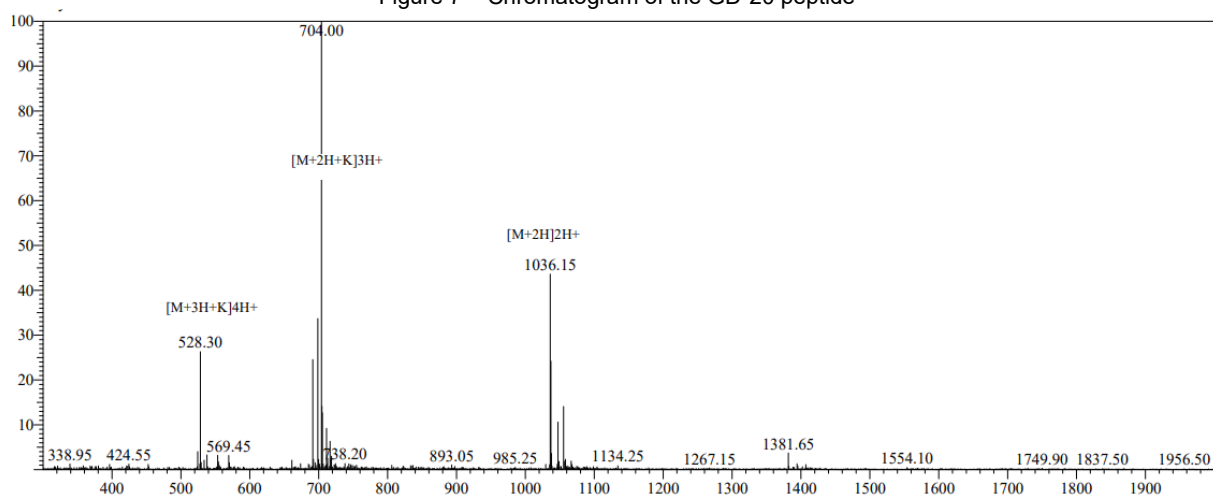


Рисунок 8 – Масс-спектр пептида GD-20

Figure 8 – Mass spectrum of the GD-20 peptide

Для внедрения в производство пептида как функционального ингредиента для пищевых продуктов также следует экспериментально определить его дозировку, чему и будут посвящены дальнейшие исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. A. Henninot, J.C. Collins, J.M. Nuss. The current state of peptide drug discovery: back to the future? *J. Med Chem.* 61 (2018). 1382-1414. <https://doi.org/10.1021/acs.jmedchem.7b00318>.
2. M. Muttenthaler, G.F. King, D.J. Adams, [et al.]. Trends in peptide drug discovery, *Nat. Rev. Drug Discov.* 20 (2021). 309-325. <https://doi.org/10.1038/s41573-020-00135-8>.
3. F.J. Chen, N. Pinnette, F. Yang, [et al.]. A cysteine-directed proximity-driven crosslinking method for native peptide bicyclization, *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* 62 (2023). e202306813. <https://doi.org/10.1002/anie.202306813>.
4. D.J. Drucker. Advances in oral peptide therapeutics, *Nat. Rev. Drug Discov.* 19 (2020). 277-289. <https://doi.org/10.1038/s41573-019-0053-0>.
5. L. Liu, X. Fan, B. Wang, [et al.]. P(III) - Directed

Late-Stage Ligation and Macrocyclization of Peptides with Olefins by Rhodium Catalysis, *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* 61 (2022). e202206177. <https://doi.org/10.1002/anie.202206177>.

6. A.S. Mackay, J.W.C. Maxwell, M.J. Bedding, [et al.]. Electrochemical modification of polypeptides at selenocysteine, *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* 62 (2023). e202313037. <https://doi.org/10.1002/anie.202313037>.

7. D. Garcia Jimenez, V. Poongavanam, J. Kihlberg. Macrocycles in drug discovery-learning from the past for the future, *J. Med Chem.* 66 (2023) 5377-5396. <https://doi.org/10.1021/acs.jmedchem.3c00134>.

8. D. Sethio, V. Poongavanam, R. Xiong, [et al.]. Simulation reveals the chameleonic behavior of macrocycles, *J. Chem. Inf. Model* 63 (2023). 138-146. <https://doi.org/10.1021/acs.jcim.2c01093>.

9. H.Y. Chow, Y. Zhang, E. Matheson, [et al.]. Ligation technologies for the synthesis of cyclic peptides, *Chem. Rev.* 119 (2019). 9971-10001. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00657>.

10. J. Iegre, J.S. Gaynor, N.S. Robertson, [et al.]. Two-component stapling of biologically active and conformationally constrained peptides: past, present, and future, *Adv. Ther.* 1 (2018). 1800052. <https://doi.org/10.1002/adtp.201800052>.

11. X. Li, Y. Zou, H.G. Hu. Different stapling-based peptide drug design: mimicking α -helix as inhibitors of protein-protein interaction, *Chin. Chem. Lett.* 29 (2018). 1088-1092. <https://doi.org/10.1016/j.ccl.2018.01.018>.
12. Y.W. Zhang, J.B. Guo, J.J. Cheng, [et al.]. High-throughput screening of stapled helical peptides in drug discovery, *J. Med. Chem.* (2022). <https://doi.org/10.1021/acs.jmedchem.2c01541>.
13. X. Li, S. Chen, W.D. Zhang, [et al.]. Stapled helical peptides bearing different anchoring residues, *Chem. Rev.* 120 (2020). 10079-10144. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.0c00532>.
14. M. Buyanova, D. Pei. Targeting intracellular protein-protein interactions with macrocyclic peptides, *Trends Pharm. Sci.* 43 (2022). 234-248. <https://doi.org/10.1016/j.tips.2021.11.008>.
15. M.G. Ricardo, A.M. Ali, J. Plewka, [et al.]. Multi-component peptide stapling as a diversity-driven tool for the development of inhibitors of protein-protein interactions, *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* 59 (2020). 5235-5241. <https://doi.org/10.1002/anie.201916257>.
16. A.M. Ali, J. Atmaj, N. Van Oosterwijk, [et al.]. Stapled peptides inhibitors: a new window for target drug discovery, *Comput. Struct. Biotechnol. J.* 17 (2019). 263-281. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2019.01.012>.
17. W. Li, F. Separovic, N.M. O'Brien-Simpson, [et al.]. Chemically modified and conjugated antimicrobial peptides against superbugs, *Chem. Soc. Rev.* 50 (2021) 4932-4973. <https://doi.org/10.1039/d0cs01026j>.
18. M.H. Wu, Q. Chen, Y.D. Wang, [et al.]. Structural modification and antitumor activity of antimicrobial peptide HYL, *Chin. Chem. Lett.* 31 (2020). 1288-1292. <https://doi.org/10.1016/j.ccl.2019.10.013>.
19. A.M. Felix, E.P. Heimer, C.T. Wang, [et al.]. Synthesis, biological activity and conformational analysis of cyclic GRF analogs, *Int. J. Pept. Protein Res.* 32 (1988). 441-454. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3011.1988.tb01375.x>.
20. J.W. Taylor. The synthesis and study of side-chain lactam-bridged peptides, *Biopolymers* 66 (2002). 49-75. <https://doi.org/10.1002/bip.10203>.
21. Yulei Li, Minghao Wu, Yinxue Fu, Jingwen Xue, Fei Yuan, Tianci Qu, Anastassia N. Rissanou, Yilin Wang, Xiang Li, Honggang Hu. Therapeutic stapled peptides: Efficacy and molecular targets, *Pharmacological Research*, Volume 203, 2024, 107137, ISSN 1043-6618. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2024.107137>.
22. S. Mahesh, V. Adebomi, Z.P. Muneeswaran, [et al.]. Bioinspired nitroalkylation for selective protein modification and peptide stapling, *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* 59 (2020). 2793-2801. <https://doi.org/10.1002/anie.201908593>.
23. M. Moiola, M.G. Memeo, P. Quadrelli, stapled peptides-a useful improvement for peptide-based drugs, *Molecules* 24 (2019). <https://doi.org/10.3390/molecules24203654>.
24. J. Liu, P. Wang, Z. Yan, [et al.]. Recent advances in late-stage construction of stapled peptides via C-H activation, *ChemBiochem* 22 (2021) 2762-2771. <https://doi.org/10.1002/cbic.202100044>.
25. X. Li, W.D. Tolbert, H.G. Hu, [et al.]. Dithiocarbamate-inspired side chain stapling chemistry for peptide drug design, *Chem. Sci.* 10 (2019) 1522-1530. <https://doi.org/10.1039/c8sc03275k>.
26. Jing Han, Xinyu Chen, Yiyun Wang, Yingying Fei, Feng Zhou, Ying Zhang, Lin Liu, Pengbin Si, Junjie Fu, Xenopus GLP-1-inspired discovery of novel GLP-1 receptor agonists as long-acting hypoglycemic and insulinotropic agents with significant therapeutic potential, *Biochemical Pharmacology*, Volume 142, 2017, Pages 155-167. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2017.06.132>.
27. Chun Han, Yuqing Sun, [et al.]. Stapled, Long-Acting Xenopus GLP-1-Based Dual GLP-1/Glucagon Receptor Agonists with Potent Therapeutic Efficacy for Metabolic Disease *Mol. Pharmaceutics* 2021, 18, 8, 2906-2923.
28. Lovering F., Becker J., Hamblett K. Breaking the deadlock: increasing saturation to improve clinical outcomes [J]. *J Med Chem*, 2009, 52(21): 6752-6.

Информация об авторах

С. Л. Тихонов – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры пищевой инженерии и аграрного производства Уральского государственного аграрного университета; профессор высшей школы биотехнологии Уральского государственного лесотехнического университета.

Н. В. Тихонова – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой пищевой инженерии и аграрного производства Уральского государственного аграрного университета.

О. О. Бабич – доктор технических наук, директор Научно-образовательного центра «Промышленные биотехнологии» Балтийского федерального университета им. И. Канта.

С. А. Сухих – заведующий лабораторией микробиологии и биотехнологий, Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта.

Е. Б. Сысеев – руководитель филиала «Всероссийский научно-исследовательский и испытательный институт медицинской техники» Росздравнадзора, г. Екатеринбург.

Д. А. Зверева – бакалавр 4-го года обучения кафедры – высшей школы биотехнологии Химикотехнологического института, Уральский государственный лесотехнический университет.

Information about the authors

S.L. Tikhonov - Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Food Engineering and Agricultural Production of the Ural State Agrarian University.

N.V. Tikhonova - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Food Engineering and Agricultural Production of the Ural State Agrarian University.

O.O. Babich - Doctor of Technical Sciences, Director of the Scientific and Educational Center "Industrial Biotechnologies" of the I. Kant Baltic Federal University.

S.A. Sukhih - Head of the Laboratory of Microbiology and Biotechnology, Immanuel Kant Baltic Federal University.

Ye.B. Sysuev - Head of the Head of the branch of the All-Russian Scientific Research and Testing Institute of Medical Equipment of the Russian Health Supervision in Yekaterinburg.

D.A. Zvereva - Bachelor of the 4th year of study at the Department of the Higher School of Biotechnology of the Institute of Chemical Technology, Ural State Forestry University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 07 июня 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 07 June 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.



Научная статья

4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)

УДК637.345

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.006



СКОРОСТЬ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЛАКТОЗЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ МОЛОЧНОГО САХАРА

Владимир Алексеевич Шохалов ¹, Анна Ивановна Гнездилова ²,
Вероника Николаевна Шохалова ³

^{1, 2} Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Вологодская государственная академия имени Н.В. Верещагина, Вологда, Молочное, Россия

³ Федеральное бюджетное учреждение здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в Вологодской области», Вологда, Россия

¹ v_shohalov@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-9276-4351>

² gnezdilova.anna@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5484-8291>

³ v-shohalova@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-9276-4351>

Аннотация. Из анализа литературы следует, что необходимо дальнейшее совершенствование кристаллизации лактозы, которая должна осуществляться с учетом теоретических обоснований. Одним из основных параметров, необходимых для разработки рационального режима охлаждения кристаллизата в производстве молочного сахара, является скорость кристаллизации. Поэтому целью работы явилось экспериментальное определение скорости кристаллизации лактозы в мелассе, полученной в условиях мембранной очистки исходного сырья. Объектом исследований явился модельный кристаллизат, полученный из мелассы и кристаллов молочного сахара. Исследования проводились в диапазоне температур $t = 10\text{--}80\text{ }^{\circ}\text{C}$ с интервалом 10 град. В ходе исследований через определенные промежутки времени: 1, 2 и 6 часов измерялись массовая доля сухих веществ и лактозы, а также средний линейный размер кристаллов. Доброкачественность межкристального раствора составила $D_6 = 58\text{--}83\%$. По полученным данным о количестве выкристаллизовавшейся лактозы, площади поверхности кристаллов и интервале времени рассчитывалась скорость кристаллизации. Энергия активации процесса кристаллизации составила 59,387 кДж/моль. Установлено, что зависимость скорости кристаллизации от температуры носит экспоненциальный характер. Полученное значение энергии активации свидетельствует о том, что комплекс несахаров, присутствующих в мелассах, препятствует кристаллизации лактозы. Установленную закономерность необходимо учитывать при разработке режима охлаждения кристаллизата в производстве молочного сахара.

Ключевые слова: молочный, лактоза, меласса, кристалл, скорость кристаллизации, пересыщение, кристаллизат, межкристальный раствор.

Благодарности: авторы выражают благодарность за финансовую поддержку исследования Правительству Вологодской области.

Для цитирования: Шохалов В. А., Гнездилова А. И., Шохалова В. Н. Скорость кристаллизации лактозы в производстве молочного сахара // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 39–44. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.006. EDN: <https://elibrary.ru/LJHANN>.

Original article

CRYSTALLISATION RATE OF LACTOSE IN MILK SUGAR PRODUCTION

Vladimir A. Shokhalov ¹, Anna I. Gnezdilova ², Veronika N. Shokhalova ³

^{1, 2} Federal State Budgetary Education Institution of Higher Education the Vereshchagin State Dairy Farming Academy of Vologda, Vologda, Molochnoye, Russia

³ Vologda State Center of Hygieneology of Epidemiology, Vologda, Russia

¹ v_shohalov@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-9276-4351>

² gnezdilova.anna@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5484-8291>

³ v-shohalova@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-9276-4351>

Abstract. From the analysis of literature, it follows that further improvement of lactose crystallisation is necessary, which should be carried out taking into account theoretical justifications. One of the main parameters necessary for the development of a rational mode of crystallisate cooling in the production of milk sugar is the crystallisation rate. Therefore, the aim of the work was to experimentally determine the crystallisation rate of lactose in

© Шохалов В. А., Гнездилова А. И., Шохалова В. Н., 2025

molasses obtained under conditions of membrane purification of feedstock. The object of research was a model crystallisate obtained from molasses and milk sugar crystals. The studies were carried out in the temperature range $t=10-80^{\circ}\text{C}$ with an interval of 10 degrees centigrade. During the studies at intervals of 1, 2 and 6 hours the mass fraction of solids and lactose, as well as the average linear size of crystals were measured. The benignity of the intercrystalline solution was $Db=58-83\%$. From the data obtained on the amount of crystallised lactose, crystal surface area and time interval, the crystallisation rate was calculated. The activation energy of the crystallisation process was 59.387 kJ/mol . The dependence of crystallisation rate on temperature has been found to be exponential in nature. The obtained value of activation energy indicates that the complex of non-sugars present in molasses prevents lactose crystallisation. The established regularity should be taken into account when developing the crystallisate cooling regime in milk sugar production.

Keywords: lactic, lactose, molasses, crystal, rate of crystallisation, supersaturation, crystallisate, intercrystalline solution.

Acknowledgements: the author expresses thanks for the financial support of the research to the Government of the Vologda Oblast.

For citation: Shokhalov, V.A., Gnezdilova, A.I., Shokhalova, V.N. (2025). Crystallisation rate of lactose in milk sugar production. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 39-44. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.006. EDN: <https://elibrary.ru/LJHANN>.

ВВЕДЕНИЕ

Кристаллизация является одной из важнейших стадий в производстве молочного сахара как по традиционной, так и по интенсивной технологиям. Режим организации и проведения процесса кристаллизации в значительной степени предопределяют потери лактозы, выход и качество готового продукта. Известны различные способы осуществления технологий очистки сырья и проведения кристаллизации [1–8].

Однако известные технологии требуют дальнейшего совершенствования в отношении выхода и качества готового продукта. Так, например, недостатком традиционной технологии являются высокие потери лактозы. Основные потери (75 %) имеют место на стадии кристаллизации и обусловлены они как причинами несовершенства режима охлаждения, так и причинами мелассообразования. Причины мелассообразования довольно подробно изложены в работе [9].

Основными недостатками в производстве молочного сахара, за исключением высоких потерь лактозы в мелассе, также является:

- образование большого количества мелких и неравномерных кристаллов;
- комкование кристаллизата и затруднение разделения кристаллов от межкристалльного раствора при центрифугировании.

В производстве молочного сахара по интенсивной технологии кристаллизацию осуществляют после сгущения в вакуум-выпарном аппарате перед сушкой. Задачей является получение равномерных однородных кристаллов, что позволяет исключить слеживаемость и комкование готового продукта, а, следовательно, гарантировать его хранимоустойчивость [10].

Чтобы исключить указанные выше недостатки, необходимо кристаллизацию проводить в соответствии с определенным режимом [11]. Обычно кристаллизацию осуществляют в аппаратах с определенной скоростью и продолжительностью охлаждения [12].

Анализ научных исследований по кристаллизации показал, что кристаллизат в начале и в конце процесса охлаждения должен иметь определенную массовую долю сухих веществ, лактозы и доброкачественность [13].

При традиционной технологии производства молочного сахара сырье после очистки и сгущения поступает на кристаллизацию лактозы, которая осуществляется в соответствии с медленным или ускоренным режимом охлаждения [14].

Известны другие режимы охлаждения, позволяющие повысить выход молочного сахара и улучшить его качество [15]. Например, известен способ получе-

ния молочного сахара [16], включающий глубокую очистку молочной сыворотки, которая достигается за счет ультрафильтрации, нанофильтрации и электродиализного обессоливания. Затем проводят сгущение в вакуум-выпарном аппарате до 60–65 % сухих веществ, кристаллизацию лактозы из пересыщенных сиропов, промывку водой с температурой 5–6 °С, отделение кристаллов лактозы до влажности 7–10 %, сушку и охлаждение. Недостатками данной технологии является применение энергоемкого оборудования электродиализной установки.

Авторами [17] предусмотрено полное исключение из технологической цепочки производства молочного сахара электродиализа и повышение уровня деминерализации лактозосодержащего сырья за счет нанофильтрации (в комбинации с диафильтрацией) до значений 70–90 %. Технологический процесс производства молочного сахара предусматривает ультрафильтрацию обезжиренного молока, нанофильтрацию, сгущение, кристаллизацию, отделение кристаллов от маточного раствора их промывку и сушку. Данная технология позволяет получить продукт высокого качества.

При реализации интенсивной технологии производства молочного сахара с использованием мембранных методов очистки сырья при проведении кристаллизации лактозы перед сушкой также используются различные режимы охлаждения.

Для совершенствования процесса производства молочного сахара наряду с ультрафильтрацией и электродиализом широко используется нанофильтрация. Таким образом получают доброкачественность раствора 0,955–0,974, который затем сгущают и далее направляют на поточную кристаллизацию с темпом охлаждения 1,5–2,0 °С/мин [18–19]. Это обеспечивает высокую однородность кристаллов, низкую гигроскопичность сухого продукта, максимальное количество кристаллизованной лактозы.

Из вышеизложенного следует, что, несмотря на многообразие известных способов совершенствования кристаллизации лактозы, необходима разработка новых режимов, которая должна осуществляться с учетом теоретических обоснований.

Кристаллизация, как известно, включает несколько стадий, первой из них является зародышеобразование, затем происходит рост образовавшихся центров кристаллизации [20]. Если скорость первой стадии преобладает, что имеет место при высоких пересыщениях, то образуется достаточно много мелких кристаллов. Если скорость роста выше, то обра-

СКОРОСТЬ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЛАКТОЗЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ МОЛОЧНОГО САХАРА

зуются более крупные и равномерные кристаллы. Таким образом, было высказано предположение, что управлять гранулометрическим составом возможно за счет изменения скорости кристаллизации. Интенсивное охлаждение способствует, например, росту пересыщения и ускоряет процесс зародышеобразования и кристаллизации в целом. Для совершенствования процесса кристаллизации лактозы необходимо оптимизировать режим охлаждения, а для этого необходимо знать скорость кристаллизации лактозы.

Скорость кристаллизации лактозы широко исследовалась в чистых водных растворах или в присутствии отдельных несахаров [21–26], а также в мелассах, полученных в производстве молочного сахара из сыворотки, очищенной термическим или физико-химическим способом [27]. Однако особенностью современных технологий является мембранная очистка сыворотки и, следовательно, специфический состав несахаров в межкристалльном растворе (мелассе), которые существенно влияют на процесс кристаллизации [28].

В этой связи целью данного исследования явилось экспериментальное определение скорости кристаллизации лактозы в мелассе, полученной в условиях мембранной очистки исходного сырья – молочной сыворотки.

МЕТОДЫ

Объектом исследований явился модельный кристаллизат молочного сахара, полученный из мелассы и кристаллов молочного сахара.

В межкристалльном растворе (мелассе) определялась массовая доля сухих веществ рефрактометрическим способом и лактозы на поляриметре Atago AP-300, обеспечивающем измерение в международных сахарных градусах (°S) при длине волны $\lambda = 589$ нм. В твердой фазе измерялся средний размер кристаллов с помощью микроскопа OLYMPUS CX31 в комплекте с цифровой камерой DMC 18MPU3. Оценка гранулометрического состава осуществлялась из выборки 100 кристаллов микроскопическим методом по ГОСТ 33567.

Таблица 1 – Параметры кристаллизации лактозы

Table 1 – Lactose crystallisation parameters

Параметры	Массовая доля сухих веществ, СВ, %, абсолютная погрешность $\pm 0,05$	Массовая доля лактозы, Л, %, абсолютная погрешность $\pm 0,01$	Доброкачественность Дб, %	Средний размер кристаллов, l , мкм
$T = 80$ °C				
1. $\Delta t = 0$	56,5	47,0	83,2	597 $\pm$ 15
2. $\Delta t = 1$ ч.	55,3	39,4	71,2	668 $\pm$ 18
$t = 70$ °C				
1. $\Delta t = 0$	56,2	46,0	81,9	597 $\pm$ 15
2. $\Delta t = 1$ ч.	55,8	40,8	73,1	662 $\pm$ 17
$t = 60$ °C				
1. $\Delta t = 0$	41,5	32,7	79,0	597 $\pm$ 15
2. $\Delta t = 2$ ч.	41,0	29,5	72,0	652 $\pm$ 17
$t = 50$ °C				
1. $\Delta t = 0$	39,7	31,0	78,1	597 $\pm$ 15
2. $\Delta t = 6$ ч.	37,4	27,4	73,3	708 $\pm$ 19
$t = 40$ °C				
1. $\Delta t = 0$	35,2	26,3	74,7	597 $\pm$ 15
2. $\Delta t = 6$ ч.	34,3	24,0	70,0	699 $\pm$ 17
$t = 30$ °C				
1. $\Delta t = 0$	31,1	21,2	68,4	597 $\pm$ 15
2. $\Delta t = 6$ ч.	30,6	19,8	64,7	694 $\pm$ 17
$t = 20$ °C				
1. $\Delta t = 0$	26,4	17,2	65,2	597 $\pm$ 15
2. $\Delta t = 6$ ч.	25,5	16,5	64,7	640 $\pm$ 16
$t = 10$ °C				
1. $\Delta t = 0$	25,8	15,2	58,9	597 $\pm$ 15
2. $\Delta t = 6$ ч.	25,5	14,9	58,4	664 $\pm$ 16

Методика эксперимента заключалась в следующем. Из отобранных образцов меласс был приготовлен модельный кристаллизат с массовой долей кристаллов 40 %. Полученный таким образом модельный кристаллизат помещают в установку, где осуществляется процесс перемешивания вращением проб со скоростью 2 об/мин при заданной температуре. В течение интервалов времени $\Delta t = 1, 2$ и 6 часов измерялись массовая доля сухих веществ и лактозы, а также средний линейный размер кристаллов. Интервалы времени устанавливались экспериментально. Исследования проводились в диапазоне температур $t = 10–80$ °C с интервалом 10 град. В конце процесса кристаллизации образцы отправлялись на центрифугирование для отделения кристаллов от межкристалльного раствора.

Опыты проводились в трехкратной повторности. Математическая обработка результатов проводилась с помощью пакета прикладных программ Microsoft Office 2019 и Statistica 8.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты эксперимента приведены в таблице 1.

По полученным экспериментальным данным была рассчитана скорость кристаллизации:

$$U = \frac{\Delta m}{\Delta t \cdot F} \quad (1)$$

где U – скорость кристаллизации, кг/м²·час;

Δm – масса выкристаллизовавшегося вещества, кг;

Δt – интервал времени, час;

F – площадь поверхности кристаллов, м².

Массу выкристаллизовавшейся лактозы определим из уравнения:

$$\Delta m = L_n - L_k \quad (2)$$

где L_n и L_k – массовая доля лактозы в начале и конце кристаллизации, кг на 100 кг кристаллизата, принимается по данным таблицы 1.

Площадь поверхности кристаллов:

$$F = \beta \cdot l^2 \frac{K}{q}, \quad (3)$$

где $\beta = 2,5$ – поверхностный коэффициент формы [25];
 l – линейный размер кристаллов при заданной температуре, м;

K – масса кристаллов на 100 кг кристаллизата, К = 40 кг;

Масса одного кристалла:

$$q_i = \alpha \cdot \rho \cdot l_i^3, \quad (4)$$

где α – объемный коэффициент формы, $\alpha = 0,24$ [25];
 ρ – плотность кристаллов лактозы $\rho = 1545 \text{ кг/м}^3$;

Преобразуем (3) с учетом (4) и значений коэффициентов:

$$F = \frac{2,5 \cdot 40}{0,24 \cdot 1545 \cdot l} = \frac{0,270}{l}$$

Затем по уравнению (1) была рассчитана скорость кристаллизации лактозы при различных температурах.

Результаты расчета площади поверхности кристаллов и скорости кристаллизации приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Скорость кристаллизации лактозы

Table 2 – Rate of crystallisation of lactose

Температура, t, °C	Средний размер кристаллов, l, мкм	Площадь поверхности кристаллов, м ²	Скорость кристаллизации лактозы, U, 10 ⁴ кг/(м ² ·час)
80	632,5	427	177,986
70	629,5	429	121,212
60	624,5	432	37,037
50	652,5	414	14,493
40	648,0	417	9,193
30	645,5	418	5,742
20	618,5	437	2,670
10	631,0	428	1,168

Скорость кристаллизации была представлена также аналитически с помощью уравнения Аррениуса (5):

$$U = A \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}}, \quad (5)$$

где A – предэкспоненциальный множитель;

E_a – энергия активации, Дж/моль.

По экспериментальным значениям скорости кристаллизации U были вычислены значения A и E_a в уравнении Аррениуса, которые составили 7,86 и 59387 Дж/моль соответственно.

Оценка адекватности данной математической модели опытным данным осуществлялась с помощью критерия Фишера и дала положительные результаты.

Как следует из таблицы 2 и уравнения (5), скорость кристаллизации возрастает с увеличением температуры и зависимость носит экспоненциальный характер. Это необходимо учитывать при реализации режима охлаждения кристаллизата в производстве молочного сахара.

Как следует из уравнения (5), энергия активации, равная 59,387 кДж/моль, при кристаллизации лактозы в растворах меласс значительно превышает ее значение, полученное по результатам исследований кристаллизации лактозы в чистых водно-лактозных растворах авторов А.Г. Шестова и К.К. Полянского. Так, например, для диапазона температур 303–343К в системе вода-лактоза энергия активации составила 11,3 кДж/моль [25]. Однако при кристаллизации лактозы с добавками белковых примесей концентрата натурального казеина (КНК) и концентрата структурирующего пищевого (КСП) энергия активации была выше, чем в системе вода-лактоза, и составила 36,54 и 42,77 кДж/моль соответственно [23]. Таким образом, из вышеизложенного следует, что комплекс несахаров, присутствующих в мелассах, препятствует кристаллизации лактозы.

ВЫВОДЫ

1. Скорость кристаллизации лактозы возрастает с увеличением температуры, и зависимость носит экспоненциальный характер в диапазоне температур $t = 10\text{--}80$ °C.

2. Комплекс несахаров, присутствующих в мелассах, препятствует кристаллизации лактозы.

3. Установленную закономерность необходимо учитывать при разработке режима охлаждения кристаллизата в производстве молочного сахара.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Информационное обеспечение наилучших доступных технологий пищевой промышленности / А.Г. Храмцов [и др.]. СПб. : ГИОРД, 2019. 312 с.
2. Храмцов А.Г. ЛАКТОМИКА – наука о молоке. Модернизация наших представлений // Молочная промышленность. 2011. № 6. С. 45–48.
3. Евдокимов И.А., Володин Д.Н., Золотарева М.С. Реальные мембранные технологии // Молочная промышленность. 2010. № 1. С. 49–50.
4. Евдокимов И.А., Володин Д.Н., Топалов В.К. (2011). Перспективы и особенности организации переработки сыворотки за рубежом и в России // Переработка молока. 2011. № 8. С. 6–8.
5. Теоретические и практические аспекты процесса кристаллизации лактозы в производстве молочного сахара. / А.И.Гнездилова [и др.] // Молочно-хозяйственный вестник. 2023. № 2. С. 128–140.
6. Эволюция переработки молочной сыворотки: прошлое, настоящее, будущее (часть 1) / А.Г. Храмцов [и др.] // Современная наука и инновации. 2021. № 2. С. 129–139.
7. The evolution of whey processing: past, present, future (part 2) / A.G. Khramtsov [and others] // Modern Science and Innovations. 2021. № 35(3). P. 126–139.
8. Храмцов А.Г. Феномен молочной сыворотки. СПб. : Профессия. 2011. 900с.
9. Гнездилова А.И. Технологические аспекты мелассообразования при кристаллизации лактозы // Молочнохозяйственный вестник. 2019. № 4(36). С. 155–164.
10. Huppertz T., Gazi I. Lactose in dairy ingredients: Effect on processing and storage stability // Journal Dairy Science. 2016. № 99(8). P. 6842–6851. doi. org/10.3168/jds.2015-10033.
11. Nijdam J., Ibach A., Eichhorn K., Kind M. An X-ray diffraction analysis of crystallised whey and whey-permeate powders // Carbohydrate Research. 2007. № 342(16). P. 2354–2364. doi. org/10.1016/j.carres. 2007.08.001.

12. Wong S.Y., Hartel R.W. (2014). Crystallization in lactose refining. A review // *Journal Food Science*. 2014. № 79(3). P. 257–272. doi. org/10.1111/1750-3841.12349.

13. Sánchez-García Yanira I., Gutiérrez-Méndez, Néstor, Orozco-Menab, Raúl E., Ramos-Sánchez, Víctor H., Leal-Ramos Martha Y. Individual and combined effect of pH and whey proteins on lactose crystallization // *Food Research International*. 2019. № 116. P. 455–461. doi. org/10.1016/j.foodres.2018.08.061.

14. Сборник технологических инструкций по производству молочного сахара. М. : Минмясо-молпром, 1980. 38 с.

15. Parimaladevi P., Srinivasan K. Influence of supersaturation level on the morphology of α -lactose monohydrate crystals // *International Dairy Journal*. 2014. № 39(2). P. 301–311. doi. org/10.1016/j.idairyj.2014.08.007.

16. Способ получения пористых таблеток молочного сахара и устройство для его осуществления: пат. 2661200 Рос. Федерация № 2017146547; заявл. 27.12.2017; опубл. 16.07.2018, Бюл. № 20. 11 с.

17. Способ производства молочного сахара: пат. 2735304 Рос. Федерация № 2019139888; заявл. 05.12.2019; опубл. 29.10.2020, Бюл. № 31. 6 с.

18. Способ получения молочного сахара с точной кристаллизацией лактозы: пат. 2658441 Рос. Федерация № 2017146544. заявл. 27.12.2017; опубл. 21.06.2018, Бюл. № 18. 8 с.

19. Способ производства молочного сахара: пат. 2683868 Рос. Федерация № 2018142314, заявл. 30.11.2018; опубл. 02.04.2019, Бюл. № 10. 7 с.

20. Фольмер, М. Кинетика образования новой фазы. М. : Наука, 1986. 204 с.

21. Храмов А.Г. Молочный сахар. М. : ВО Агро-промиздат, 1987. 223 с.

22. Bhargava A., Jelen P. Lactose solubility and crystal growth as affected by mineral impurities // *Journal Food Science*. 1996. № 61(1). P. 180–184. doi. org/10.1111/j.1365-2621.1996.tb14754.

23. Шохалов В.А. Разработка технологии консервированного молокосодержащего продукта с сахаром : дис. ... канд. техн. наук. Вологда, 2004. 149 с.

24. Smykov I., Gnezdilova A., Vinogradova Y., Muzykantova A., Lyamina A. Cooling curve in production sweetened concentrated milk supplemented with whey: Influence on the size and microstructure of lactose crystals // *Journal Food Science and Technology International*. 2019. № 25(6). P. 1–11. doi. org/10.1177/1082013219830494.

25. Полянский К.К., Шестов А.Г. Кристаллизация лактозы : физико-химические основы. Воронеж : Изд-во ВГУ, 1995. 185 с.

26. Гнездилова А.И. Развитие научных основ кристаллизации лактозы и сахарозы в многокомпонентных водных растворах: автореф. дис. ... д-ра. техн. наук. М., 2000. 46 с.

27. Кузнецова В.С. Нормирование параметров мелассы и расчет рационального режима кристаллизации лактозы: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Вологда, 1989. 17 с.

28. Wijayasinghe R., Bogahawaththa D., Chandrapala J., Vasiljevic T. Crystallization behavior and crystal properties of lactose as affected by lactic, citric, or phosphoric acid // *Journal Dairy Science*. 2020. № 103(12). P. 11050–11061. doi. org/10.3168/jds.2020-1835.

Информация об авторах

В. А. Шохалов – кандидат технических наук, доцент кафедры технологического оборудования Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Вологодской государственной академии имени Н.В. Верещагина.

А. И. Гнездилова – доктор технических наук, профессор кафедры технологического оборудования Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Вологодской государственной академии имени Н.В. Верещагина.

В. Н. Шохалова – кандидат технических наук, начальник отдела обеспечения лабораторной деятельности Федерального бюджетного учреждения здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в Вологодской области».

REFERENCES

1. Khramtsov, A.G., Bratsikhin, A.A., Borisenko, A.A., Borisenko, L.A., Evdokimov, I.A., Ryabtseva, S.A., Lodygin, A.D. & Borisenko, A.A. (2019). *Information support of the best available technologies of the food industry*. SPb. : GIOR. (In Russ.).

2. Khramtsov, A.G. (2011). Lactomics - the science of milk. Modernisation of our perceptions. *Dairy Industry*, (6), 45-48. (In Russ.).

3. Evdokimov, I.A., Volodin, D.N. & Zolotareva, M.S. (2010). Real membrane technologies. *Dairy Industry*, (1), 49-50. (In Russ.).

4. Evdokimov, I.A., Volodin, D.N. & Topalov, V.K. (2011). Prospects and peculiarities of organisation of whey processing abroad and in Russia. *Milk Processing*, (8), 6-8. (In Russ.).

5. Gnezdilova, A.I., Shokhalov, V.A., Vinogradova, Y.V. & Shokhalova, V.N. (2023). Theoretical and practical aspects of lactose crystallisation process in milk sugar production. *Molochnokhozhivny vestnik*, (2), 128-140. (In Russ.).

6. Khramtsov, A.G., Borisenko, A.A., Evdokimov, I.A., Borisenko, A.A., Bratsikhin, A.A. & Borisenko, L.A. (2021). Evolution of dairy whey processing: past, present, future (part 1). *Modern Science and Innovation*, (2), 129-139. (In Russ.).

7. Khramtsov, A.G., Borisenko, A.A., Evdokimov, I.A., Borisenko, A.A., Bratsikhin, A.A. & Borisenko, L.A. (2021). The evolution of whey processing: past, present, future (part 2). *Modern Science and Innovations*, 35(3), 126-139.

8. Khramtsov, A.G. (2011). *Phenomenon of dairy whey*. SPb. : Profession. (In Russ.).

9. Gnezdilova, A.I. (2019). Technological aspects of molasses formation during lactose crystallisation. *Molochnokhozyaystvenny vestnik*, 4(36), 155-164. (In Russ.).

10. Huppertz, T. & Gazi, I. (2016). Lactose in dairy ingredients: Effect on processing and storage stability. *Journal Dairy Science*, 99(8), 6842-6851. doi.org/10.3168/jds.2015-10033.

11. Nijdam, J., Ibach, A., Eichhorn, K. & Kind, M. (2007). An X-ray diffraction analysis of crystallised whey and whey-permeate powders. *Carbohydrate Research*, 342(16), 2354-2364. doi.org/10.1016/j.carres.2007.08.001.

12. Wong, S.Y. & Hartel, R.W. (2014). Crystallization in lactose refining. A review. *Journal Food Science*,

79(3), 257-272. doi.org/10.1111/1750-3841.12349.

13. Sánchez-García, Yanira I., Gutiérrez-Méndez, Néstor, Orozco-Menab, Raúl E., Ramos-Sánchez, Victor H. & Leal-Ramos Martha, Y. (2019). Individual and combined effect of pH and whey proteins on lactose crystallization. *Food Research International*, 116, 455-461. doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.061.

14. Collection of technological instructions for the production of milk sugar. (1989). Moscow : Minmyasomolprom. (In Russ.).

15. Parimaladevi, P. & Srinivasan, K. (2014). Influence of supersaturation level on the morphology of α -lactose monohydrate crystals. *International Dairy Journal*, 39(2), 301-311. doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.08.007.

16. Evdokimov, I.A., Shramko, M.I., Anisimov, G.S., Khramtsov, A.G., Ryabtseva, S.A., Serov, A.N. & Darzhania, B.A. (2018). Metod for producing porous tablets of milk sugar and device for its implementation. *Pat. 2661200. Russian Federation, published on 16.07.2018. Bull. No. 20. (In Russ.).*

17. Shkola, S.S., Dykalo, N.Y., Anisimov, G.S., Evdokimov, I.A., Kravtsov, V.A., Akhmedova, V.R., Martak, A.A. & Metel, V.S. (2020). Milk sugar production method. *Pat. 2735304. Russian Federation, published on 29.10.2020. Bull. No. 31. (In Russ.).*

18. Evdokimov, I.A., Shramko, M.I., Anisimov, G.S., Khramtsov, A.G., Ryabtseva, S.A., Kulikova, I.K., Kravtsov, V.A. & Metel, V.S. (2018). Metod for obtaining milk sugar with lactose flow crystallization. *Pat. 2658441. Russian Federation, published on 21.06.2018. Bull. No. 18. (In Russ.).*

19. Anisimov, G.S., Dykalo, N.Y., Shkola, S.S. & Kravtsov, V.A. (2019). Milk sugar production method. *Pat. 2683868. Russian Federation, published on 02.04.2019. Bull. No. 10. (In Russ.).*

20. Vollmer, M. (1986). *Kinetics of new phase formation*. M.: Nauka. (In Russ.).

21. Khramtsov, A.G. (1987). *Milk sugar*. M.VO Agropromizdat. (In Russ.).

22. Bhargava, A. & Jelen, P. (1996). Lactose solubility and crystal growth as affected by mineral impurities.

Journal Food Science, 61(1), 180-184. doi.org/10.1111/j.1365-2621.1996.tb14754.

23. Shokhalov, V.A. (2004). Development of the technology of the preserved milk-containing product with sugar : Cand. of Technical Sciences. Vologda. (In Russ.).

24. Smykov, I., Gnezdilova, A., Vinogradova, Y., Muzykantova, A. & Lyamina, A. (2019). Cooling curve in production sweetened concentrated milk supplemented with whey: Influence on the size and microstructure of lactose crystals. *Journal Food Science and Technology International*, 25(6), 1-11. doi.org/10.1177/1082013219830494. (In Russ.).

25. Polyansky, K.K. & Shestov, A.G. (1995). *Crystallisation of lactose: physicochemical bases*. Voronezh: Izd.VGU. (In Russ.).

26. Gnezdilova, A.I. (2000). Development of scientific bases of crystallisation of lactose and sucrose in multicomponent aqueous solutions. Extended abstract of Doctors thesis. Moscow. (In Russ.).

27. Kuznetsova, V.S. (1989). Norming of molasses parameters and calculation of rational mode of lactose crystallisation. Extended abstract of candidates thesis. Vologda. (In Russ.).

28. Wijayasinghe, R., Bogahawaththa, D., Chandrapala, J. & Vasiljevic, T. (2020). Crystallization behavior and crystal properties of lactose as affected by lactic, citric, or phosphoric acid. *Journal Dairy Science*, 103(12), 11050-11061. doi.org/10.3168/jds.2020-1835.

Information about the authors

V.A. Shokhalov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Technological Equipment Chair of the Vereshchagin State Dairy Farming Academy of Vologda.

A.I. Gnezdilova - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Technological Equipment Chair of the Vereshchagin State Dairy Farming Academy of Vologda.

V.N. Shokhalova - Candidate of Technical Sciences, Head of the department of the Vologda State Center of Hygieneology of Epidemiology.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 07 июня 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 07 June 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.6

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.007



РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУР И ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТИРАЖЕННОГО ИРИСА С КЕДРОВЫМИ ОРЕХАМИ

Нелли Николаевна Типсина ¹, Галина Александровна Демиденко ²

^{1, 2} ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», г. Красноярск, Россия

¹ nellia.tipsina@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-2902-6693>

² demidenkoekos@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9268-585X>

Аннотация. Кондитерские изделия востребованы населением, и рост их ассортимента вызывает интерес у разных слоев общества. Продукция с добавлением нетрадиционного растительного сырья обогащает продукты питания биологически активными веществами и улучшают состояние организма человека. Кедровые орехи – дар природы, применение которых приносит неоценимую пользу для здоровья человека. Липиды являются основным компонентом ядер кедровых орехов. Белково-липидный комплекс со значительным содержанием ненасыщенных жирных кислот: (олеиновой, линолевой, альфа-линолевой (категория триглицеридов), улучшает состояние клеточных мембран, синтез белка, чувствительность к инсулину. Актуальность исследования заключается в изучении физико-химических, органолептических, биологических, профилактических и других свойств кедровых орехов для увеличения ассортимента кондитерских изделий и улучшения качества пищевой продукции. Цель исследования: технология получения тиражированного ириса с ядрами кедрового ореха и разработка рецептуры нового кондитерского изделия – ириса «Кедрового». Объекты исследования – образцы тиражированного ириса «Кедровый» как новое кондитерское изделие с применением разной процентной добавки (15 %, 20 %, 25 %) ядер кедровых орехов. Использовались стандартные методы и методики исследования. Результаты выполненных исследований показали, что при увеличении процентной добавки ядер кедровых орехов происходит возрастание влажности от 7.5 до 9.3 %. Массовая доля жира также повышается с увеличением процентной добавки ядер кедровых орех (от 8.5 % до 10,5 %). Белково-липидный комплекс в оптимальном образце ириса (вариант эксперимента № 2 с 15 % добавкой ядер кедрового ореха) показал, что степень удовлетворения суточной потребности увеличилась, а именно белков, на 8.95 %, жиров – на 11.68 %. Совершенствование технологии производства тиражированного ириса «Кедровый» происходит на этапе получения ирисной массы и **тиражирования**, когда добавляют ядра кедровых орехов в обжаренном и дробленном виде. Рентабельность составляет 19 %, поэтому выпуск тиражированного ириса «Кедровый» возможен для расширения ассортимента и увеличения выработки изделий с использованием нетрадиционного местного растительного сырья.

Ключевые слова: ядра кедровых орехов, рецептура нового кондитерского изделия, тиражированный ирис «Кедровый», белково-липидный комплекс, показатели качества.

Для цитирования: Типсина Н. Н., Демиденко Г. А. Разработка рецептур и технология получения тиражированного ириса с кедровым орехом // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 45–49. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.007. EDN: <https://elibrary.ru/KVLEYW>.

Original article

FORMULATION DEVELOPMENT AND TECHNOLOGY FOR PRODUCING REPLICATED IRIS WITH PINE NUTS

Nelly N. Tipsina ¹, Galina A. Demidenko ²

^{1, 2} Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

¹ nellia.tipsina@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-2902-6693>

² demidenkoekos@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9268-585X>

Abstract. Confectionery products are in demand by the population and the growth of their assortment is of interest to different segments of society. Products with the addition of non-traditional vegetable raw materials enrich food with biologically active substances and improve the condition of the human body. Pine nuts are a gift of nature, the use of which brings untold benefits to human health. Lipids are the main component of the kernels of pine nuts. A protein - lipid complex with a significant content of unsaturated fatty acids (triglycerides category), improves the condition of cell membranes, protein synthesis, and insulin sensitivity. The relevance of the research lies in the study of physico-chemical, organoleptically, biological, preventive and other properties of pine nuts to increase the range of confectionery products and improve the quality of food products. The purpose of the study: the technology of producing replicated toffee with pine nut kernels and the development of a recipe for a new confectionery product - iris "Cedar". The objects

© Типсина Н. Н., Демиденко Г. А., 2025

of the study are samples of replicated Cedar iris, as a new confectionery product with the use of different percentage additives (15 %, 20 %, 25 %) kernels of pine nuts. Standard research methods and techniques were used. The results of the performed studies showed, with an increase in the percentage of addition of pine nuts kernels, an increase in humidity from 7.5 to 9.3 %. The mass fraction of fat also increases with an increase in the percentage of addition of pine nuts kernels (from 8.5 % to 10.5 %). The protein-lipid complex in the optimal iris sample (experiment variant No. 2 with 15 % addition of pine nut kernels) showed that the degree of satisfaction of daily needs increased, namely, proteins by 8.95 %, and fats by 11.68 %. The improvement of the production technology of replicated toffee "Cedar" occurs at the stage of obtaining toffee mass and replication, when the kernels of pine nuts are added in fried and crushed form. The profitability is 19 %, therefore, the production of replicated iris "Kedrovyy" is possible to expand the range and increase the production of products using non-traditional local vegetable raw materials.

Keywords: kernels of pine nuts, formulation of a new confectionery product, replicated iris "Cedar", protein-lipid complex, quality indicators.

For citation: Tipsina, N.N., Demidenko, G.A. (2025). Formulation development and technology for producing replicated iris with pine nuts. Polzunovskiy vestnik, (3), 45-49. (In Russ). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.007. EDN: <https://elibrary.ru/KVLEYW>.

ВВЕДЕНИЕ

Повышенный интерес к продукции из нетрадиционного растительного сырья обоснован его возможностями насыщать продукты питания комплексом полезных элементов, улучшающих состояния организма [1–4].

При покупке пищевых продуктов потребительские предпочтения показывают возрастающий спрос населения к продуктам функционального питания. Разработка новых продуктов функционального назначения позволит восполнить дефицит отдельных элементов питания в организме человека.

Кедровые орехи – дар природы, использование которых приносит неоценимую пользу для здоровья человека [4–7]. Перспективным сырьем являются как ядра кедрового ореха, так и продукты его переработки. Ядра кедрового ореха содержат широкий спектр необходимых человеку макро- и микронутриентов (белков, жиров, углеводов), обеспечивающих основные функции организма и являющихся источниками энергии; микронутриентов (минеральных веществ, витаминов), укрепляющих иммунную, сердечно-сосудистую, нервную системы организма, и других веществ.

Актуальность исследования заключается в изучении физико-химических, органолептических, биологических, профилактических и других свойств кедровых орехов для увеличения ассортимента кондитерских изделий и улучшения качества пищевой продукции. Такие изделия имеют высокую пищевую ценность и приятные вкусовые характеристики.

Ядро кедрового ореха по калорийности, усвояемости и содержанию физиологически важных веществ превосходит многие продукты животного происхождения, в том числе по содержанию витаминизированного масла с высокой долей ненасыщенных жирных (олеиновой, линолевой, альфа-линолевой) кислот и фосфолипидов. В состав белков входит 14 аминокислот, 70 % которых незаменимые, что указывает на высокую биологическую активность кедровых орехов и делает человека устойчивым к болезням и стрессам [8–9]. Имеет высокую энергетическую и пищевую ценность [10].

Цель исследования: технология получения тиражированного ириса с ядрами кедрового ореха и разработка рецептуры нового кондитерского изделия – ириса «Кедрового».

Задачи исследования: 1. Разработка рецептур нового кондитерского изделия с применением разной процентной добавки (15 %, 20 %, 25 %) ядер кедро-

вых орех в лабораторном эксперименте и их исследования по органолептическим и физико-химическим свойствам. 2. Дегустационная оценка изделий, выбор оптимального образца с лучшими показателями качества. 3. Пищевая ценность продукции и определение степени удовлетворения суточной потребности человека. 4. Усовершенствование технологии производства тиражированного ириса «Кедровый» с 15 % добавкой ядер кедрового ореха. 5. Расчет экономической эффективности производства изделия.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объекты исследования. Образцы тиражированного ириса «Кедровый» как нового кондитерского изделия с применением разной процентной добавки (15 %, 20 %, 25 %) ядер кедровых орехов. В лабораторном эксперименте решалась задача выбора наиболее оптимальной дозы для обеспечения качества изделия. Варианты эксперимента: № 1 – контроль (тиражированный ирис «Молочный»); вариант № 2 – с добавлением 15 %; вариант № 3 – 20 %; вариант № 4 – 25 % ядер кедрового ореха от массы готового изделия. Использовались стандартные методы и методики исследования.

Исследования выполнены на кафедре технологии хлебопекарного, кондитерского и макаронного производства Института пищевых производств ФГБОУ ВО «Красноярского ГАУ».

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Продукты питания играют ведущую роль в профилактике и лечении заболеваний организма человека. Липиды являются основным компонентом ядер кедровых орехов. Современная промышленная переработка кедровых орехов направлена на извлечения масла, имеющего лечебно-профилактические свойства и высокую пищевую ценность. Полезный белково-липидный комплекс со значительным содержанием ненасыщенных жирных кислот (олеиновой, линолевой, альфа-линолевой (категория триглицеридов), улучшает состояние клеточных мембран, синтез белка, чувствительность к инсулину.

Расчет рецептур произведен на основе унифицированной рецептуры ириса «Молочного» – контроль (таблица 1).

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУР И ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТИРАЖЕННОГО ИРИСА С КЕДРОВЫМИ ОРЕХАМИ

Таблица 1 – Унифицированная рецептура ириса «Молочного» (контрольный образец)

Table 1 – Unified formulation of iris "Milk" (control sample)

Наименование сырья	Массовая доля сухих веществ, %	Расход сырья на 100 г. готовой продукции, г.	
		Контрольный образец	
		В натуре	В сухих веществах
Молоко сгущенное	74.0	36.62	27.09
Сахар	99.85	44.92	44.85
Патока	78.0	23.79	18.56
Масло сливочное	84.0	4.18	3.51
Эссенция ирисная	–	0.39	–
Итого	–	109.9	94.01
Выход	95.0	100.0	92.38

Сводная рецептура приготовления ирисной массы для образцов ириса «Кедрового» с разной процентной добавкой ядер кедрового ореха в вариантах эксперимента представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Сводная рецептура ириса «Кедровый» в вариантах эксперимента

Table 2 – Summary of the formulation of the Cedar iris in experimental variants

Наименование сырья, г	Массовая доля сухих веществ, %	Расход сырья на 100 г. готовой продукции, г.					
		15 % добавление ядер кедрового ореха		20 % добавление ядер кедрового ореха		25 % добавление ядер кедрового ореха	
		В натуре	В сухих веществах	В натуре	В сухих ве- ществах	В натуре	В сухих веществах
Молоко сгущенное	74.0	36.62	27.09	36.62	27.09	36.62	27.09
Сахар	99.85	44.92	44.85	44.92	44.85	44.92	44.85
Патока	78.0	23.79	18.56	23.79	18.56	23.79	18.56
Масло сливочное	84.0	4.18	3.51	4.18	3.51	4.18	3.51
Эссенция ирисная	–	0.39	–	0.39	–	0.39	–
Ядра кедрового ореха	95.21	15.0	15.0	20.0	19.0	25.0	24.0
Итого	–	124.9	109.01	129.9	113.01	134.9	118.01
Выход	95.0	100.0	95.0	100.0	95.0	100.0	95.0

В таблице 3 представлены органолептические и физико-химические показатели качества изделий ириса «Кедрового» с разной процентной добавкой ядер кедрового ореха в вариантах эксперимента.

Таблица 3 – Анализ органолептических и физико-химических показателей качества изделий ириса «Кедрового» с разной процентной добавкой ядер кедрового ореха в вариантах эксперимента

Table 3 – Analysis of organoleptic and physico-chemical quality indicators of cedar iris products with different percentages of pine nut kernels in experimental variants

Наименование показателя	Варианты эксперимента с разной процентной добавкой ядер кедрового ореха			
	Контроль	15 %	20 %	25 %
Органолептические показатели				
Вкус	Сладкий, молочный, ясно выраженный	Сладкий с привкусом кедрового ореха		
Запах	Ясно выраженный, характерный для наименования изделия	Ясно выраженный, с ощутимым запахом кедрового ореха		
Поверхность	Шероховатая	Слабо шероховатая, блестящая		
Форма	Без деформаций	Без деформаций		
Цвет	Светло-коричневый	Светло-коричневый с вкраплениями ядер кедрового ореха		
Структура	Мелкокристаллическая, с равномерным распределением кристаллов сахара в ирисной массе	Мелкокристаллическая, с равномерным распределением кристаллов сахара в ирисной массе		
Консистенция	Мягкая, в изломе рассыпчатая	Мягкая, в изломе более рассыпчатая		
Физико-химические показатели				
Влажность, %	7,3	7.5	8.3	9.3
Массовая доля жира, %	7.0	8.5	9.5	10.5

Анализ таблицы 3 показал, что органолептические данные варианты эксперимента № 2, № 3, № 4, превышают показатели контроля: имеют привкус и ощутимый запах кедрового ореха; поверхность слабошероховатая, блестящая; консистенция мягкая, на изломе более рассыпчатая.

Физико-химические показатели, а именно влажность, возрастает при увеличении процентной добавки от 7.5 до 9.3 %. Массовая доля жира также повыша-

ется с увеличением процентной добавки ядер кедрового ореха (от 8.5 % до 10.5 %). В обоих показателях к контролю наиболее приближен вариант эксперимента № 2 (с 15 % добавкой ядер кедрового ореха).

Требования к качеству тиражного ириса (вкус, запах (аромат), поверхность, цвет, форма, структура, консистенция) отражает дегустационная оценка (таблица 4). Эти показатели должны соответствовать параметрам, задуманным изготовителем [11].

Таблица 4 – Дегустационная оценка образцов тиражного ириса «Кедровый» в вариантах лабораторного эксперимента [11]

Table 4 – Tasting evaluation of samples of replicated Cedar iris in laboratory experiment variants [11]

Показатели качества	Коэффициент	Число степеней качества	Число участников дегустации	Оценка изделий, в баллах в вариантах эксперимента			
				Контроль	15 %	20 %	25 %
Вкус и запах (аромат)	4	3	5	8	8	7	5
Цвет	3	3	5	7	7	6	5
Форма	2	3	5	7	7	6	5
Структура и консистенция	3	3	5	7	7	6	5
Сумма оценки	12	12	20	29	29	25	20

Дегустационная оценка образцов тиражного ириса соответствует шкале: «отлично» – 30–25 баллов; «хорошо» – 24–19 баллов; «удовлетворительно» – 18–10 баллов; неудовлетворительно – 9–1 баллов [11].

Анализ таблицы 4 показал, что по результатам дегустационной оценки образец тиражного ириса в варианте эксперимента № 2 (с 15 % добавкой ядер кедрового ореха) соответствует контрольному образцу. Однако как преимущество имеет привкус и острый приятный запах (аромат) кедрового ореха. Этот образец по совокупностям показателей имеет лучшие

характеристики (29 баллов), что по шкале оценок соответствует оценке «отлично».

Энергетическая ценность контрольного образца составляет 686,07 ккал.; для оптимального образца (с 15 % добавкой ядер кедрового ореха), энергетическая ценность – 848,86 ккал., что выше энергетической ценности контрольного образца.

Пищевая ценность отражает полноту полезных свойств продукта и выражает степень удовлетворения потребности человека в основных пищевых веществах и энергии (табл. 5).

Таблица 5 – Степень удовлетворения суточной потребности в пищевых веществах в оптимальном образце тиражного ириса «Кедровый» по сравнению с контролем

Table 5 – The degree of satisfaction of the daily nutritional requirements in the optimal sample of replicated iris "Cedar", compared with the control

Показатель	Контроль		Оптимальный образец (добавка 15 % кедрового ореха)	
	Содержание в 100 г продукта	Степень удовлетворения суточной потребности, %	Содержание в 100 г продукта	Степень удовлетворения суточной потребности, %
Вода, г				
H ₂ O	30.29	1.73	33.49	1.9
Макронутриенты, г				
Белки	2.85	3.35	10.53	12.3
Жиры	37.66	36.92	49.66	48.6
Углеводы, усвояемые	83.93	21.97	89.95	23.5
Пищевые волокна	–	–	0.94	3.6
Минеральные вещества, мг				
Натрий	2.25	0.56	46.85	11.7
Калий	126.14	50.46	305.94	122.3
Кальций	113.5	14.19	135.90	16.98
Фосфор	87.09	7.26	284.49	23.7
Магний	14.9	3.73	223.90	55.9
Железо	0.23	1.92	1.23	10.3
Витамины, мг				
Тиамин (B1)	0.22	12.94	0.34	20.0
Рибофлавин (B2)	0.64	32.0	0.98	49.2
Ниацин (PP)	0.07	0.37	0.09	0.38

По данным таблицы 5 видно, что белково-липидный комплекс в оптимальном образце ириса (вариант эксперимента № 2 с 15 % добавкой ядер кедрового ореха) показал, что степень удовле-

творения суточной потребности увеличилась, а именно белков, на 8.95 %, а жиров – на 11.68 %.

В таблице 6 представлены показатели экономической эффективности **тиражного** ириса «Кедровый».

Таблица 6 – Показатели экономической эффективности тиражного ириса «Кедровый»

Table 6 – Indicators of economic efficiency of replicated Cedar iris

Наименование показателя	Тираженный ирис «Кедровый»
Стоимость 1 т товарной продукции, руб.	138108.08
Прибыль от реализации 1 т продукции, руб.	22050.08
Рентабельность, %	19

На основании полученных данных, экономическая эффективность разработанного изделия тиражного ириса «Кедровый» с добавлением кедрового ореха (15 %) является рентабельной, и рентабельность составляет 19 %. Выпуск тиражного ириса «Кедровый» возможен для расширения ассортимента и увеличения выработки изделий с использованием нетрадиционного местного растительного сырья.

Технология производства тиражного ириса «Кедровый». Тираженный ирис готовят с небольшой особенностью, а именно наличием в ирисной массе очень мелких кристаллов сахара. Эти кристаллы сахара образовывались во время перемешивания (тиражения), после уваривания ирисной массы.

Добавление ядер кедровых орехов практически не изменяет традиционную технологию производства

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУР И ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТИРАЖЕННОГО ИРИСА С КЕДРОВЫМИ ОРЕХАМИ

тираженных ирисов, которая состоит из нескольких этапов: подготовки сырья к производству; приготовления рецептурной смеси; получения ирисной массы и тиражирование; охлаждение ирисной массы; формование; завертка и упаковка, хранение.

В технологии производства тираженного ириса «Кедровый» совершенствуется этап получения ирисной массы и **тиражирование**. Уваривание возможно проводить в открытых варочных котлах с мешалками; универсальных варочных вакуум-аппаратах периодического действия; в варочных колонках непрерывного действия.

По окончании уваривания в ирисную массу вносят обрезки и крошки (в производственных условиях) или сахарную пудру (в лабораторных условиях) в количестве 15 % от содержания ирисной массы и вымешивают до равномерного распределения этих добавок. На данной стадии добавляют ядра кедровых орехов в обжаренном и дробленном виде. Длительность тиражирования – 7–10 минут.

В результате ирисная масса приобретает характерную мелкокристаллическую структуру.

После окончания тиражирования в ирисную массу вносят ароматические и вкусовые добавки. Температура ирисной массы после тиражирования составляет 112–115 °С.

Разработанное кондитерское изделие – тираженный ирис «Кедровый», обогащенный белково-липидным комплексом со значительным содержанием ненасыщенных жирных кислот (**олеиновой, линолевой, альфа-линолевой**), а также минеральных веществ и витаминов, рекомендуется как диетический и профилактический продукт для любых групп населения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современная тенденция обогащения продуктов питания ценными биологически активными веществами функционального назначения способствует восстановлению здоровья и жизненных сил человека. Кондитерские изделия на примере тираженного ириса «Кедровый» с добавлением ядер кедровых орехов, обогащены белково-липидным комплексом со значительным содержанием ненасыщенных жирных кислот и других элементов, повышающих качество продукции.

В результате исследований решены задачи:

1. Лабораторный эксперимент разработки нового кондитерского изделия тираженного ириса «Кедровый» с применением разной процентной добавки (15 %, 20 %, 25 %) ядер кедровых орехов показал, что оптимальным вариантом является вариант 2 с добавлением 15 % ядер кедровых орехов. По органолептическим и физико-химическим показателям к контролю наиболее приближен вариант эксперимента № 2 (с 15 % добавкой ядер кедрового ореха).
2. По результатам дегустационной оценки образец тираженного ириса в варианте эксперимента № 2 (с 15 % добавкой ядер кедрового ореха) обладает лучшими показателями качества, имеет характеристики (29 баллов), что по шкале оценок соответствует оценке «отлично».
3. Пищевая ценность изделий, выраженная в удовлетворении суточной потребности человека, показала повышения белков на 8.95 %, а жиров – на 11.68 %.
4. Совершенствование технологии производства ти-

раженного ириса «Кедровый» происходит на этапе получения ирисной массы и тиражирования, когда добавляют ядра кедровых орехов в обжаренном и дробленном виде. 5. Рентабельность составляет 19 %. Выпуск тираженного ириса «Кедровый» возможен для расширения ассортимента и увеличения выработки изделий с использованием нетрадиционного местного растительного сырья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анисимова Е.Ю., Сложенкина М.И., Золотарева А.Г. Новые подходы в создании функциональных продуктов питания на основе использования нетрадиционных региональных ресурсов // *Аграрно-пищевые инновации*. 2022. Т. 19, № 3. С. 39–48.
2. Получение ириса с использованием порошка из голубики / А.Е. Туманова, Н.Н. Типсина, Е.А. Струпан, Г.А. Демиденко // *Пищевая промышленность*, 2024, № 2. С. 6–10.
3. 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.
4. Бех И.А. Перспективы освоения ресурсов кедрового ореха в лесах Сибири // *Journal of Siberian Federal University. Biology* 4 (2008 1). P. 414–421.
5. Гарченко Р.Г. Кедровое богатство России // *Масла и жиры*. 2015. № 1–2. С. 10–11.
6. Кедровый орех – реальная альтернатива импорту / Е.С. Вайнерман, А.Ю. Золотин, Л.Н. Голубева, Н.А. Шахайло // *Пищевая промышленность*. 2016. № 3. С. 48–50.
7. Ефремов А.А., Забродина С.В. Возможности комплексной переработки кедровых орехов с получением продуктов пищевого назначения // *Экономика. Психология. Бизнес*. 2004. № 2. С. 89–101.
8. Особенности жирнокислотного состава кедровых орехов Сибири и Дальнего Востока / Ф.А. Медведев, С.Н. Кулакова, М.М. Левачев // *Вопросы питания*. 1992. № 2. С. 87–93.
9. Исследование химического состава белково-липидного продукта из кедровых орехов / Т.Г. Колесникова, М.А. Субботина, Н.С. Шубенкина // *Техника и технология пищевых производств*. 2013. № 2. С. 22–26.
10. Егорова Е.Ю., Позняковский В.М. Пищевая ценность кедровых орехов // *Известия вузов*. 2010. № 4. С. 21–27.
11. Ковалев Н.И. Технологии приготовления пищи. М. : Дом деловая литература, 1999. 480 с.

Информация об авторах

Н. Н. Типсина – д.т.н., профессор кафедры технологии хлебопекарного, кондитерских и макаронных производств ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет».

Г. А. Демиденко – д.б.н., профессор кафедры ландшафтной архитектуры и ботаники ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет».

Information about the authors

N.N. Tipsina - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technology of Bakery, Confectionery and Pasta Production, Krasnoyarsk State Agrarian University.

G.A. Demidenko - Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Landscape Architecture and Botany, Krasnoyarsk State Agrarian University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 07 июня 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 07 June 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.



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

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.008



ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФЕРМЕНТОЛИЗА МЕЗГИ ИЗ МЕЛКОПЛОДНОГО СОРТА ЯБЛОНИ

Наталья Петровна Супрун ¹, Галина Семеновна Гусакова ²,
Никита Дмитриевич Лукьянов ³

^{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 lukyanov.n@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8826-3424>

Аннотация. Настоящая работа посвящена математическому моделированию процесса ферментации яблочной мякоти из мелкоплодной полукультурки – Уральское наливное. Изучалось совокупное влияние параметров: концентрации ферментного препарата, продолжительности и температуры ферментации на выход яблочного сока. Путем полного факторного эксперимента установлено, что определяющими параметрами в рассмотренном процессе получения сока являются продолжительность и температура ферментации. Функция, учитывающая комбинации факторов ($X_1 \cdot X_2$ и $X_2 \cdot X_3$), наиболее достоверно описывает изученный процесс. Результаты регрессионного анализа, в частности высокий коэффициент детерминации R^2 и согласованность фактических и прогнозируемых значений, указывают на высокое качество построенной модели. Достоверность влияния исследованных факторов на результативный признак полученной модели подтвердила величина P -значимости коэффициентов регрессии b_i ($i = 1(1)5$). Стандартное исследование функции показало, что продолжительность ферментации мякоти должна составлять 94,2 минуты (в исследованном диапазоне температур и концентраций ферментного препарата). Полученные уравнения регрессии позволили задавать и рассчитывать взаимозависимые переменные факторы (концентрацию препарата и температуру ферментации). Матрица Гессе показала, что линия координат (X_1, X_2, X_3) является линией перегиба модели, а экстремум функции не существует. Проверка представленной математической модели подтвердила возможность и адекватность ее применения для описания процесса ферментации яблочной мякоти и прогнозирования выхода сока из полукультурки Уральское наливное.

Ключевые слова: плоды яблони, мелкоплодная полукультурка, мякоть, ферментация, выход сока, ферментный препарат, математическое моделирование, регрессионный анализ.

Для цитирования: Супрун Н. П., Гусакова Г. С., Лукьянов Н. Д. Оптимизация процесса ферментации мякоти из мелкоплодного сорта яблони // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 50–54. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.008. EDN: <https://elibrary.ru/MZKPIQ>.

Original article

OPTIMIZATION OF ENZYMATIC RPE-TREATMENT OF PULP FROM SMALL-FRUIT APPLE VARIETY

Natalya P. Suprun ¹, Galina S. Gusakova ², Nikita D. Lukyanov 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 lukyanov.n@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8826-3424>

Abstract. The paper concerns the mathematical modeling for the enzymatic rpe-treatment of the apple pulp from small-fruited semi-culture - Uralskoe nalive. The authors studied the combined influence of the following parameters: enzyme preparation concentration, enzymatic rpe-treatment duration and temperature on the yield of apple juice. The full factorial experiment revealed that the determining parameters in the considered juice production process were the enzymatic rpe-treatment duration and temperature. The studied process is most reliably described by the function that takes into account the factors combinations ($X_1 \cdot X_2$ and $X_2 \cdot X_3$). The regression analysis results, particularly the high determination coefficient R^2 and consistency between actual and predicted values indicate the high quality of the designed model. The reliability of the studied factors influence on the model resulting feature confirmed by P -value of the regression coefficients b_i ($i = 1(1)5$). Standard study of the function showed that the enzymatic rpe-treatment duration of apple pulp should be 94.2 minutes (in the studied range of temperatures and enzyme preparation concentrations). The obtained regression equations made it possible to set and calculate interdependent variable factors (enzyme preparation concentration and enzymatic rpe-treatment temperature). The Hessian matrix showed that the coordinate's

© Супрун Н. П., Гусакова Г. С., Лукьянов Н. Д., 2025

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФЕРМЕНТОЛИЗА МЕЗГИ ИЗ МЕЛКОПЛОДНОГО СОРТА ЯБЛОНИ

line (X_1, X_2, X_3) was the inflection line of the model, so the extremum of the function doesn't exist. Verification of the presented mathematical model confirmed the possibility and adequacy of its application to describe the enzymatic rpe-treatment of the pulp and predicting the juice yield from apple variety - Uralskoe nalivnoe.

Keywords: apple fruits, small-fruited varieties, pulp, enzymatic rpe-treatment, juice yield, enzyme preparation, mathematical modeling, regression analysis.

For citation: Suprun, N.P., Gusakova, G.S. & Lukyanov, N.D. (2025). Optimization of the enzymatic rpe-treatment of the pulp from small-fruit apple variety. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 50-54. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.008. EDN: <https://elibrary.ru/MZKPIQ>.

ВВЕДЕНИЕ

Популяризация правильного питания и здорового образа жизни все больше способствует переориентации интереса современного потребителя к категориям натуральных безалкогольных и слабоалкогольных напитков. Мировой тенденцией развития пищевой отрасли в последние годы остается увеличение объемов производства фруктовых и овощных соков [1], а также слабоалкогольной плодовой продукции, в том числе сидров [2]. Поэтому для удовлетворения растущего спроса потребителей производителям необходимо искать и использовать новые виды сырья или расширять его сортовое разнообразие. Над решением этой задачи активно трудятся отечественные и зарубежные исследователи. Ученые занимаются испытанием новых (в том числе районированных) сортов яблони при производстве продуктов питания [3–5], работают над повышением урожайности и устойчивости сортов к стрессовым факторам [6–8].

Другой, не менее важной производственной задачей является организация рациональной и глубокой переработки используемых ресурсов. В технологиях плодовых и ягодных напитков одним из эффективных способов решения этой задачи является использование ферментных препаратов. Об этом свидетельствуют многочисленные работы авторов, посвященные проблеме повышения эффективности переработки плодово-ягодного сырья [9]. Результаты исследований показали, что ферментативный метод позволяет технологически безопасно и направленно воздействовать на высокомолекулярные биополимеры и ускорять процессы конверсии растительного сырья. Благодаря этому ферментные препараты активно применяют для разрушения полисахаридов и экстракции различных целевых соединений (полифенолов, витаминов и т.д.) [10–11]. На предприятиях соковой и винодельческой промышленности давно и широко используются пектолитические ферментные комплексы, однако поиск новых более эффективных препаратов остается актуальным и значимым направлением научных исследований.

Тем не менее, внедрение новых видов (или сортов) сырья, а также ферментных препаратов в производстве предполагает обязательное выполнение экспериментов, требующих крупных затрат времени и средств. Обычно такие эксперименты основаны на варьировании отдельных независимых переменных. Поэтому для контроля и управления (в том числе оптимизации) технологических процессов применяют различные статистические методы анализа: регрессионный, дисперсионный, корреляционный, Бокса-Уилсона и многие другие [12–14], которые позволяют точно прогнозировать и регулировать результаты процесса. Таким образом, математическое моделирование процесса обеспечивает существенное сокращение расхода времени и средств производства. Следовательно, данное направление исследований имеет важный практический интерес.

Цель настоящего исследования состояла в обосновании условий ферментолиза мезги в процессе получения яблочного сока из мелкоплодной полукультурки с использованием математических методов моделирования.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследуемым сырьем являлись плоды яблони-полукультурки высокосимистойского помологического сорта отечественной селекции – Уральское наливное. Отбор плодов проводили в фазе технологической зрелости на коллекционных участках крестьянского (фермерского) хозяйства «Иркутский садовод» в районе товарищества собственников недвижимости «Молодёжное» Иркутской области (район Южного Прибайкалья). Выбор сорта обусловлен биохимическим составом получаемого сока, который приведен в результатах ранее представленного исследования [15].

Плоды измельчали в лабораторной шнековой дробилке «ИЗМ-102», мезгу сульфировали (75 мг/дм^3). Для гидролиза пектиновых веществ мезгу обрабатывали ферментным комплексом Lafazym Extract, («Laffort», Франция) с пектолитической активностью 6700 ед/г и помещали в термостат ($T = 35\text{--}45^\circ\text{C}$). Сок отжимали с помощью вертикального гидравлического корзиночного пресса «Hobbi Juice». Давление медленно наращивали до максимального значения $0,8 \text{ МПа}$. После прекращения выделения сока давление сбрасывали до нуля, мезгу ворошили и повторяли процесс отжима. Полученные образцы сока отстаивали при температуре 10°C .

Выход сока из плодов определяли по формуле:

$$C = (A - B) / A \cdot 100\%,$$

где C – выход сока; A – масса плодов до прессования; B – масса выжимок после прессования.

Экспериментальные данные подвергали дисперсионному и регрессионному анализу. Относительная погрешность измерений, реализованных в трехкратной повторности при доверительной вероятности $0,95$, составила $\delta \leq 7\%$, что можно считать удовлетворительным результатом.

С использованием математической модели выполняли оптимизацию условий выделения яблочного сока из мелкоплодной полукультурки. Изучали совокупное влияние независимых переменных: концентрации ферментного препарата (X_1 , г/кг), продолжительности (X_2 , мин) и температуры ферментолиза (X_3 , $^\circ\text{C}$) на зависимую переменную – выход сока ($Y_{\text{сп}}$, %). Диапазон и уровни независимых переменных представлены в таблице 1.

Условия полного факторного эксперимента обоснованы ранее полученными результатами изучения влияния каждого отдельного фактора [16]. Для статистической обработки данных методом регрессионного анализа использовали программу Microsoft Excel 2019.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для изучения совокупного влияния независимых переменных (для трех факторов X_1 , X_2 , X_3) применяли матрицу полного факторного экспери-

мента (табл. 2). Выполнили нормализацию значений всех переменных факторов, чтобы исключить влияние несовместимости единиц измерения на результаты математического анализа [17].

Таблица 1 – Условия проведения эксперимента / Table 1 – Experimental conditions

Характеристика плана	Переменные факторы		
	Концентрация фермента, г/кг (X_1)	Продолжительность, мин (X_2)	Температура, °C (X_3)
Минимальный уровень	0,03	60	35
Максимальный уровень	0,05	240	45
Шаг варьирования	0,01	60	5

Таблица 2 – Матрица полного факторного эксперимента / Table 2 – Full factorial experimental plan

Натуральные значения				Нормализованные значения			
X_1	X_2	X_3	$Y_{\text{ср}}$	X_1	X_2	X_3	$Y_{\text{ср}}$
0,03	60	35	68,4±0,3	-1,21	-1,32	-1,21	-0,20
0,04	60	35	69,7±0,7	0	-1,32	-1,21	0,09
0,05	60	35	71,5±0,8	1,21	-1,32	-1,21	0,50
0,03	60	40	69,8±0,7	-1,21	-1,32	0	0,12
0,04	60	40	74,1±0,4	0	-1,32	0	1,09
0,05	60	40	73,3±0,8	1,21	-1,32	0	0,90
0,03	60	45	73,5±0,3	-1,21	-1,32	1,21	0,95
0,04	60	45	72,9±0,9	0	-1,32	1,21	0,83
0,05	60	45	71,1±0,6	1,21	-1,32	1,21	0,42
0,03	120	35	72,2±1,0	-1,21	-0,44	-1,21	0,66
0,04	120	35	74,4±0,3	0	-0,44	-1,21	1,16
0,05	120	35	72,5±0,4	1,21	-0,44	-1,21	0,73
0,03	120	40	73,9±0,7	-1,21	-0,44	0	1,04
0,04	120	40	72,7±0,4	0	-0,44	0	0,77
0,05	120	40	71,9±0,6	1,21	-0,44	0	0,59
0,03	120	45	72,6±0,4	-1,21	-0,44	1,21	0,75
0,04	120	45	71,4±0,9	0	-0,44	1,21	0,48
0,05	120	45	70,7±0,9	1,21	-0,44	1,21	0,33
0,03	180	35	73,0±0,5	-1,21	0,44	-1,21	0,84
0,04	180	35	71,8±1,0	0	0,44	-1,21	0,58
0,05	180	35	69,7±0,6	1,21	0,44	-1,21	0,11
0,03	180	40	69,4±0,9	-1,21	0,44	0	0,03
0,04	180	40	66,8±0,6	0	0,44	0	-0,56
0,05	180	40	65,5±0,6	1,21	0,44	0	-0,85
0,03	180	45	64,2±0,4	-1,21	0,44	1,21	-1,14
0,04	180	45	63,8±0,7	0	0,44	1,21	-1,23
0,05	180	45	63,5±0,6	1,21	0,44	1,21	-1,29
0,03	240	35	72,7±0,7	-1,21	1,32	-1,21	0,78
0,04	240	35	72,0±0,9	0	1,32	-1,21	0,61
0,05	240	35	68,8±0,4	1,21	1,32	-1,21	-0,10
0,03	240	40	68,5±0,3	-1,21	1,32	0	-0,18
0,04	240	40	65,5±1,0	0	1,32	0	-0,84
0,05	240	40	64,7±0,7	1,21	1,32	0	-1,02
0,03	240	45	60,5±0,4	-1,21	1,32	1,21	-1,97
0,04	240	45	58,6±1,0	0	1,32	1,21	-2,40
0,05	240	45	57,7±0,9	1,21	1,32	1,21	-2,60

Для оценки отклика зависимой переменной было предложено линейное уравнение регрессии, которое имеет вид:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3; \quad (1)$$

где y – вектор выхода яблочного сока; b_i – искомые коэффициенты регрессии ($i = 1(1)3$); x_i – значения нормализованных независимых переменных, влияющих на выход яблочного сока.

Статистическая обработка результатов полного факторного эксперимента позволила получить линейное уравнение регрессии, описывающее функцию отклика:

$$Y = -0,14X_1 - 0,06X_2 - 0,44X_3; \quad R^2 = 0,56 \quad (2)$$

Коэффициент детерминации R^2 полученного уравнения по общеизвестной шкале Чеддока [18] свиде-

тельствовал о слабой связи между наблюдаемыми величинами найденной зависимости. Кроме того, P – значения коэффициентов регрессии, присутствующих в модели, составили более 0,05, что не подтверждает их значимости и позволяет судить лишь об их доверительном интервале. Поэтому в регрессионном анализе были рассмотрены комбинации факторов ($X_1 \cdot X_2$ и $X_2 \cdot X_3$) и получена другая модель следующего вида:

$$Y = -0,14X_1 - 0,6X_2 - 0,44X_3 - 0,17X_1X_2 - 0,54X_2X_3; \quad R^2 = 0,87. \quad (3)$$

Коэффициент детерминации R^2 новой модели показал, что 87 % наблюдаемой дисперсии отклика может быть объяснено с помощью полученной модели. Высокое значение R^2 и согласованность фактических и прогнозируемых значений говорят о высоком качестве построенной модели. Из уравнения (3) вид-

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФЕРМЕНТОЛИЗА МЕЗГИ ИЗ МЕЛКОПЛОДНОГО СОРТА ЯБЛОНИ

но, что наиболее значимыми факторами в рассмотренном процессе получения сока являлись X_2 (продолжительность, мин) и X_3 (температура ферментации, °C), а X_1 (концентрация фермента, г/кг) оказывал наименьшее значение, о чем свидетельствуют найденные коэффициенты регрессии b_i ($i = 1(1)3$). Достоверность влияния факторов на результативный признак полученной модели подтвердила величина P -значимости ($0,04$; $3,9 \cdot 10^{-9}$; $2,3 \cdot 10^{-7}$; $0,02$ и $4,8 \cdot 10^{-8}$) коэффициентов регрессии b_i ($i = 1(1)5$), равная меньше $0,05$.

Выполнив стандартное исследование функции (3) для поиска экстремума, а именно найдя частные производные первого порядка по всем независимым переменным и приравняв к нулю, получили, что:

$$X_2 = \frac{-0,14}{0,17} = -0,82; \quad (4)$$

$$X_1 = -3,17X_3 - 3,53; \quad (5)$$

$$X_3 = -1,11 - 0,31X_1. \quad (6)$$

Из выражения (4), преобразовав нормализованное значение $X_2 = -0,82$ в соответствующие единицы измерения, выяснили, что продолжительность ферментации (X_2) должна составлять 94,2 минуты (в исследованном диапазоне температур и концентраций ферментного препарата). Полученные уравнения (5 и 6) показали, что экстремум функции может находиться

вдоль линии координат (X_1, X_2, X_3). Поэтому определив частные производные второго порядка и составив матрицу Гессе (7), выявили, что линия координат (X_1, X_2, X_3) является линией перегиба и не представляет возможность определить экстремум функции. Однако уравнения (5 и 6) позволяют задавать и рассчитывать взаимозависимые переменные X_1 и X_3 .

$$\Delta = \begin{vmatrix} 0 & -0,17 & 0 \\ -0,17 & 0 & -0,54 \\ 0 & -0,54 & 0 \end{vmatrix} = 0 \quad (7)$$

Таким образом, заложив в уравнение (5) значение температуры (X_3), равное 40°C , теоретически рассчитали, что предложенная математическая модель позволяет прогнозировать максимальный выход яблочного сока при концентрации ферментного препарата менее $0,03$ г/кг. Подставив в уравнение (6) значение концентрации препарата (X_1), равное $0,04$ г/кг, определили, что предложенная математическая модель позволяет прогнозировать максимальный выход сока при минимальной температуре, равной $35,4^\circ\text{C}$. Для проверки полученных результатов регрессионного анализа было проведено уточнение условий ферментации. Результаты сравнения выхода сока, рассчитанного (Y_p) теоретически и полученного экспериментально (Y_ϕ), приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Проверка рассчитанного (Y_p) теоретически и фактического (Y_ϕ) выход сока

Table 3 – Verification of the theoretically calculated (Y_c) and actual (Y_a) juice yield

Переменные факторы			Выход сока, %	
Концентрация, г/кг	Продолжительность, мин	Температура, °C	Y_p	Y_ϕ
0,02	94	35	71,7	70,5±0,4
0,03			71,0	70,0±0,6
0,04			70,3	70,0±1,0
0,06			68,9	67,5±0,6
0,02		40	68,2	67,5±0,8
0,03			67,5	67,0±0,6
0,04			66,8	66,0±0,8
0,06			65,4	64,5±0,3

Проверка модели при обработке мезги концентрациями ферментного препарата, выходящими за параметры, использованные при получении уравнения, подтвердила адекватность применения модели для прогнозирования выхода сока из мелкоплодной полукультуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты полного факторного эксперимента продемонстрировали определяющее влияние продолжительности и температуры ферментации яблочной мезги на выход сока из мелкоплодной полукультуры Уральское наливное. Регрессионный анализ показал, что предложенное линейное уравнение, учитывающее комбинации факторов ($X_1 \cdot X_2$ и $X_2 \cdot X_3$) достаточно адекватно описывает закономерности процесса выделения яблочного сока из плодов полукультуры. Повторное экспериментальное уточнение условий ферментации подтвердило, что предложенная модель является адекватной для описания процесса ферментации яблочной мезги и прогнозирования выхода сока из полукультуры Уральское наливное.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fruit and Vegetable Juice Market Size & Share Analysis – Growth Trends & Forecasts (2024–2029) : Mordor

Intelligence. URL: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/fruit-and-vegetable-juice-market-industry>. (дата обращения: 20.08.2024).

2. Functional properties of the fermented alcoholic beverages: apple cider and beer / A. Tsoupras [et al.] // Functional foods and their implications for health promotion. Academic Press, 2023. P. 319–339. DOI: 10.1016/B978-0-12-823811-0.00013-4.

3. Технологические показатели плодов гибридных подвоев яблони и перспективы их использования в производстве сидра / Н.С. Левгеров [и др.] // Современное садоводство. 2021. № 3. С. 1–10. DOI : 10.52415/23126701_2021_0301.

4. Причко Т.Г., Чалая Л.Д. Технические и биохимические особенности плодов новых перспективных сортов яблони как сырья для переработки // Научные труды Государственного научного учреждения Северо-Кавказского зонального научно-исследовательского института садоводства и виноградарства Российской академии сельскохозяйственных наук. 2014. Т. 5. С. 190–195.

5. Weide J.V., van Nocker S., Gottschalk C. Metaanalysis of apple (*Malus × domestica* Borkh.) fruit and juice quality traits for potential use in hard cider production // Plants, People, Planet. 2022. V. 4, № 5. P. 463–475. DOI: 10.1002/ppp3.10262.

6. An overview of the factors influencing apple cider sensory and microbial quality from raw materials to emerging

processing technologies / Calugar P.C. [et al.] // Processes. 2021. V. 9, № 3. P. 502. DOI: 10.3390/pr9030502.

7. Delgado A., García-Fernández B., Gómez-Cortecero A., Dapena E. Susceptibility of cider apple accessions to European canker – comparison between evaluations in field planted trees and rapid screening tests // Plants. 2022. V. 11, № 9. P. 1145. DOI: 10.3390/plants11091145.

8. A multimodal and multiscale investigation of factors affecting the juice yield of cider apples / Lahaye M. [et al.] // Food Chemistry. 2023. V. 420. P. 135649. DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.135649.

9. Влияние ферментов с различной субстратной специфичностью на степень биокаталитической деградации плодово-ягодного сырья / Е.М. Сербя [и др.] // Пищевая промышленность. 2018. № 7. С. 68–73.

10. Рожнов Е.Д., Неклюдов А.А., Школьников М.Н. Применение пектолитических ферментных препаратов в производстве напитков из плодов облепихи // Все о мясе. 2020. № 5. С. 300–303. DOI: 10.21323/2071-2499-2020-5S-300-303.

11. Макаров С.С., Макаров С.Ю., Панасюк А.Л. Влияние различных технологических факторов на состав антоцианов при производстве вина из черной смородины // Техника и технология пищевых производств. 2018. Т. 48, № 3. С. 72–80. DOI: 10.21603/2074-9414-2018-3-72-80.

12. Дышлюк Л.С., Просеков А.Ю. Оптимизация с использованием регрессионного анализа технологических параметров процесса экструзии с раздувом // Известия СПбГИ(ТУ). 2018. № 45(71). С. 123–126.

13. Многофакторное планирование экспериментов при разработке новых мясных продуктов / М.А. Никитина [и др.] // Все о мясе. 2017. № 4. С. 54–58. DOI: 10.21323/2071-2499-2022-5-32-37.

14. Табакаев А.В., Табакаева О.В., Приходько Ю.В. Математическое моделирование экстракции каротиноидов из бурой водоросли *S. Miyabei* // Индустрия питания. 2022. Т. 7, № 3. С. 50–58. DOI: 10.29141/2500-1922-2022-7-3-6.

15. Биохимический состав фруктового суслу из мелкоплодных сортов яблони Южного Прибайкалья / Н.П. Супрун [и др.] // Известия вузов. Прикладная химия

и биотехнология. 2023. Т. 13, № 4. С. 611–620. DOI: 10.21285/2227-2925-2023-13-4-611-620.

16. Супрун Н.П., Гусакова Г.С., Раченко М.А. Ферментативный катализ яблочной мезги // Химия растительного сырья. 2023. № 1. С. 307–312. DOI: 10.14258/jcpim.20230111067.

17. Крамер Г. Математические методы статистики : монография / пер. с англ. А.С. Мониной, А.А. Петрова ; под ред. А.Н. Колмогорова. 2-е изд. Москва : Изд-во «Мир», 1975. 648 с.

18. Магнус Я.Р., Катышев П.К., Пересецкий А.А. Эконометрика. Начальный курс : учеб. ; 9-е изд., испр. Москва : Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2021. 504 с.

Информация об авторах

Н. П. Супрун – Н.П. Супрун – к.т.н., старший преподаватель кафедры химии и биотехнологии В.В. Тугуриной, Иркутского национального исследовательского технического университета.

Г. С. Гусакова – к.с.х.н., доцент, Иркутского национального исследовательского технического университета.

Н. Д. Лукьянов – к.т.н., доцент Иркутского национального исследовательского технического университета.

Information about the authors

N.P. Suprun – Candidate of Technical Sciences, senior professor of Department of Chemistry and Biotechnology named after V.V. Tugurina of Irkutsk National Research Technical University, +79016324182.

G.S. Gusakova – Candidate of of Agricultural Sciences, Associate Professor of Irkutsk National Research Technical University, +79500647028.

N.D. Lukyanov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Irkutsk National Research Technical University, +73952405000.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 07 июня 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 07 June 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.144

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.009



РАЗРАБОТКА МЯГКОЙ КАРАМЕЛИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Светлана Николаевна Тефикова¹, Ольга Александровна Орловцева²,
Елизавета Валерьевна Арзамасова³, Мария Вячеславовна Клоконос⁴,
Виктор Валерьевич Горбачев⁵, Игорь Алексеевич Никитин⁶

^{1, 2, 6}Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия

^{3, 4}Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет), Москва, Россия

⁵Государственного университета по землеустройству (ФГБОУ ВО ГУЗ)

¹teffikova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9086-0781>

²starosta1981@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3796-1679>

³grustii01@mail.ru

⁴mv.klokonos@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9752-9151>

⁵genetic2@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2737-8604>

⁶nikito.igor@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8988-5911>

Аннотация. В настоящее время вопросы укрепления здоровья играют ключевую роль в обеспечении долгосрочного благополучия и качества жизни. Крепкий иммунитет помогает предотвратить развитие различных заболеваний и способствует увеличению продолжительности жизни. Важная роль при этом отведена полноценному рациону питания, включающему пищевые продукты с заданным нутриентным составом, в частности с повышенным содержанием витаминов А и С. Исследование химического состава пюре из шиповника и облепихи позволило определить оптимальное соотношение этих ингредиентов в смеси для максимального содержания необходимых витаминов. В статье представлен анализ образцов, в состав которых введено ягодное пюре, заменившее сливки в стандартной рецептуре на 20 %, 30 % и 50 %. Оценка разработанных продуктов осуществлялась на соответствие требованиям ГОСТ 6477-2019 по органолептическим и физико-химическим показателям, были проанализированы технологические характеристики, хранимостепособность и потребительские свойства. Проведенный комплекс исследований позволил выбрать наилучшее соотношение купажа пюре и сливок в пропорции 70/30. Для сохранности термолабильного витамина С предложена корректировка технологии, а именно внесение смеси пюре в карамельную массу на стадии охлаждения до 50 °С. Расчеты пищевой ценности подтвердили иммуномодулирующий эффект мягкой карамели, покрывающий суточную потребность витаминов А на 17 % и С на 60 % при употреблении 100 г продукта.

Ключевые слова: мягкая карамель, технология, функциональный продукт, иммунитет, облепиха, шиповник.

Благодарности: Исследование выполнено в рамках внутренней НИР при финансовой поддержке ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова».

Для цитирования: Разработка мягкой карамели функционального назначения / С. Н. Тефикова [и др.] // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 55–60. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.009. EDN: <https://elibrary.ru/NFFGRD>.

Original article

DEVELOPMENT OF SOFT CARAMEL FOR FUNCTIONAL PURPOSES

Svetlana N. Tefikova¹, Olga A. Orlovtsseva², Elizaveta V. Arzamasova³,
Maria V. Klokonos⁴, Victor V. Gorbachev⁵, Igor A. Nikitin⁶

^{1, 2, 6}Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

^{3, 4}K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (First Cossack University), Moscow, Russia

⁵State University of Land Management

¹teffikova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9086-0781>

²starosta1981@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3796-1679>

³grustii01@mail.ru

⁴mv.klokonos@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9752-9151>

⁵genetic2@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2737-8604>

⁶nikito.igor@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8988-5911>

© Тефикова С. Н., Орловцева О. А., Арзамасова Е. В., Клоконос М. В., Горбачев В. В., Никитин И. А., 2025

Abstract. Currently, health promotion issues play a key role in ensuring long-term well-being and quality of life. A strong immune system helps prevent the development of various diseases and helps to increase life expectancy. An important role is assigned to a full-fledged diet, including foods with a given nutrient composition, in particular those containing an increased content of vitamins A and C. The study of the chemical composition of rosehip and sea buckthorn puree made it possible to determine the optimal ratio of these ingredients in the mixture for the maximum content of essential vitamins. The article presents an analysis of samples containing berry puree, which replaced cream in the standard formulation by 20 %, 30 % and 50 %. The developed products were evaluated for compliance with the requirements of GOST 6477-2019 in terms of organoleptic and physico-chemical parameters, technological characteristics, storage capacity and consumer properties were checked. The conducted complex of studies allowed us to choose the best ratio of the blend of mashed potatoes and cream in the proportion of 70/30. To preserve the thermolabile vitamin C, an adjustment of the technology is proposed, namely, the introduction of a mixture of mashed potatoes into the caramel mass at the cooling stage up to 50 °C. Calculations of nutritional value confirmed the immunomodulatory effect of soft caramel, covering the daily requirement of vitamins A by 17% and C by 60% when consuming 100 g of the product.

Keywords: soft caramel, technology, functional product, immunity, sea buckthorn, rose hips.

Acknowledgements: The study was carried out within the framework of internal research with the financial support of the Plekhanov Russian University of Economics.

For citation: Tefikova, S.N., Orlovitseva, O.A., Arzamasova, E.V., Klokonos, M.V., Gorbachev, V.V. & Nikitin, I.A. (2025). Development of soft caramel for functional purposes. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 55-60. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.009. EDN: <https://elibrary.ru/NFFGRD>.

ВВЕДЕНИЕ

Питание играет важную роль в жизни человека, обеспечивая организм необходимыми питательными веществами, которые не только поддерживают все его функции, но и влияют на общее состояние здоровья. Рацион, отличающийся полноценностью, регулярностью и богатый разнообразными продуктами, позволяет получать все необходимые нутриенты, такие как витамины, минеральные и минорные вещества. Они выполняют ряд важных функций в организме: поддержание иммунной системы, регуляция обмена веществ, защита от свободных радикалов и т. д. Недостаток каждого из них, даже микронутриентов, может привести к ухудшению здоровья, что будет выражаться в проявлении таких признаков, как ослабление иммунной системы, ухудшение работы органов и систем организма [1, 2].

Иммунитет играет ключевую роль в защите организма от вредных факторов. Он обеспечивает защиту от инфекций, болезней и других потенциально опасных воздействий, помогая организму сохранять здоровье и баланс. Последние годы характеризуются увеличением заболеваний, связанных с иммунитетом, что может быть обусловлено рядом факторов, включая изменения в образе жизни современного человека, увеличение стресса, плохое питание, недостаток физической активности, экологические проблемы, использование антибиотиков и других медикаментов, а также старение. В связи с этим важно поддержание здорового образа жизни для укрепления иммунной системы [3].

В решении этой задачи важное значение отводится рациону, содержащему продукты, богатые витаминами, которые необходимы для поддержания обменных процессов и как участники биохимических реакций внутри клеток в качестве катализаторов или коферментов. Помимо этого, они участвуют в синтезе белков и производстве многих компонентов клеток [4–6]. К витаминам, оказывающим существенную роль в повышении иммунитета, относятся аскорбиновая кислота (витамин С) и ретинол (витамин А).

Витамин С — это антиоксидант, участвующий в большинстве окислительно-восстановительных реакций, протекающих в нашем организме. На работу иммунной системы аскорбиновая кислота оказывает комплексное действие: принимает участие в образовании интерферона, стимулирует способность иммунных клеток распознавать и уничтожать вирусы и бактерии. При этом витамин С способствует произ-

водству белых кровяных тел, которые играют ключевую роль в борьбе организма с инфекцией. Кроме того, витамин С обладает антиоксидантными свойствами, которые помогают защитить иммунные клетки от повреждения свободными радикалами, а также вырабатывает фагоциты — особые клетки, которые уничтожают микроорганизмы, проникающие в кровь.

Витамин А — один из самых важных витаминов, влияющих на здоровье детей и взрослых и участвующих в формировании полноценного и адекватного иммунного ответа. Ретинол содействует производству клеток крови (лейкоцитов), которые отвечают за защиту организма от вирусов, бактерий и токсинов. Витамин А стимулирует регенерацию клеток, поддерживает функции слизистых оболочек и предотвращает проникновение инфекций извне. Он также участвует в выработке организмом интерферона и иммуноглобулина А, что также способствует укреплению иммунной системы.

В 2021 г. обновлены Методические рекомендации МР 2.3.1.0253-2021 [7], содержащие информацию о физиологических потребностях в энергии и пищевых веществах для различных групп населения и позволяющие определить, какие продукты и в каком количестве нужно включать в дневной рацион, чтобы укрепить свой иммунитет.

В связи с вышесказанным, разработка новых продуктов с повышенной пищевой и биологической ценностью, способных оказывать позитивное воздействие на иммунную систему организма, — важная задача, стоящая перед пищевой промышленностью. Одним из перспективных направлений являются продукты кондитерской отрасли в связи с их востребованностью практически каждым потребителем [8].

Цель научного исследования заключается в укреплении иммунной системы за счёт введения в рацион продукта с повышенным содержанием ретинола и аскорбиновой кислоты. Главная задача исследования — разработка технологии приготовления кондитерского изделия, способного компенсировать недостаток витаминов А и С в питании современного человека.

В качестве объекта исследования была выбрана мягкая карамель — кондитерское изделие, которое доступно для всех социальных слоев населения [9]. Для обогащения мягкой карамели витаминами было выбрано ягодное сырьё — шиповник и облепиха, обладающие высоким содержанием необходимых витаминов (таблица 1).

РАЗРАБОТКА МЯГКОЙ КАРАМЕЛИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Таблица 1 – Содержание витаминов в шиповнике и облепихе

Table 1 – Content of vitamins in rose hips and sea buckthorn

Название витамина	Суточная норма	Количество в 100 г продукта	
		шиповник	облепиха
Витамин А, мкг	900,0	434,0	250,0
Витамин С, мг	90,0	650,0	200,0

Выбор данных ягод обусловлен их пищевой ценностью. Распространенный на территории России шиповник отличается богатым витаминным составом и используется как лекарственное сырье. Ягоды шиповника богаты витаминами группы В, витаминами А и С, а также кальцием, магнием и железом и характеризуются широким спектром действия при профилактике и лечении заболеваний за счет поддержания и укрепления иммунитета [10].

Среди макроэлементов наиболее существенно в облепихе содержание калия и кальция, а среди микроэлементов – железа. В 100 г облепиховых ягод содержится почти в три раза больше от суточной потребности витамина С, половина нормы витамина В₆, треть суточной нормы витамина Е и А. Также облепиха обеспечивает 100 % потребности человека в органических кислотах (яблочной, винной, лимонной, щавелевой и др.), которые участвуют во множестве биохимических реакций. Ягоды облепихи имеют противовирусное действие и укрепляют иммунитет, обладают противовоспалительным эффектом и способствуют заживлению ран благодаря витаминам А и Е [10].

МЕТОДЫ

Продукт проверяли на соответствие требованиям ГОСТ 6477-2019 [11] по органолептическим (внешний вид, консистенция, вкус и запах) и физико-химическим показателям (массовая доля влаги, массовая доля редуцирующих веществ).

Органолептические показатели качества определяли по ГОСТ 5897-90 [12] путем контроля объединенной пробы изделий – осмотр внешнего вида и консистенции, исследование вкуса и запаха.

Массовую долю влаги мягкой карамели определяли с помощью рефрактометра по ГОСТ 5900-2014 [13] путем вычитания полученного результата массовой доли сухих веществ из 100 %. Массовую долю редуцирующих веществ продукта определяли фотоколориметрическим (феррицианидным) методом по ГОСТ 5903-89 [14].

Для изучения технологических свойств определяли растекаемость карамельной массы. Для этого навеску продукта массой 10 г и температурой (20 ± 1) °С выливали на мраморную плиту, предварительно смазанную растительным маслом. После окончания растекания массы измеряли взаимно перпендикулярные диаметры круга. Растекаемость характеризуется коэффициентом растекания, который рассчитывают по формуле (1)

$$K = \frac{S}{P}, \quad (1)$$

где K – коэффициент растекания, см²/г;

S – площадь, занимаемая пластом карамельной массы, вылитой на плиту при температуре 20 °С, см²;

P – масса порции карамельной массы, г.

Оценку потребительских свойств проводили экспертным методом по ГОСТ ISO 13299-2015 [15], заключающимся в том, что каждое органолептическое свойство представляется в виде набора простых составляющих, которые оцениваются испытателями по качеству, интенсивности и порядку проявления. В дегустации приняли участие четыре эксперта, которые оценивали вкус, аромат, цвет, внешний вид и консистенцию образцов по пятибалльной шкале, где 1 балл – «неудовлетворитель-

но», 5 баллов – «отлично». Результаты по всем показателям для каждого эксперта суммировали, а за итоговое значение принимали среднее арифметическое между суммарными оценками всех экспертов.

Оценку хранимостпособности проводили бактериоскопическим методом путем окраски проб карамели по Грамму. Контрольные три точки: после приготовления, на четвертые сутки, на шестые сутки хранения. В каждом бактериоскопическом анализе изучались не менее пяти полей зрения для наиболее полного обнаружения микроорганизмов с целью установления их морфологических признаков.

Пищевую ценность рассчитывали на основе справочных данных по нутриентному составу сырья с учетом технологических потерь.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основой для разработки мягкой карамели с повышенным содержанием витаминов для укрепления иммунитета была выбрана рецептура мягкой карамели «Соленая карамель» [16]. Контрольный образец (образец 1) готовили следующим образом. В соответствии с рецептурой отмеривали сахар белый, инвертный сироп, приливали необходимое количество воды и нагревали до полного растворения сахара. Рецептурную смесь уваривали до температуры 110–119 °С и появления янтарного цвета. Далее вводили сливочное масло и подогретые до температуры 70 °С сливки. Уваривали карамельную массу на медленном огне до содержания сухих веществ 85–88 %. Готовую массу разливали в емкости, охлаждали до температуры (18±2) °С и упаковывали.

В опытные образцы (таблица 2) в качестве функционального ингредиента иммуномодулирующего действия вместо части сливок вводили пюре шиповника и облепихи в соотношении 2:1, обладающее оптимальным соотношением витамина А и витамина С, а также высокими вкусовыми характеристиками. Внесение пюре шиповника и облепихи для образца 2 и 3 осуществляли на стадии охлаждения до температуры 50 °С с целью избежать полного разрушения витамина С. При приготовлении образца 4 ягодное пюре вносили в горячую карамельную массу при температуре 90 °С, так как из-за снижения количества жидкого ингредиента карамельная масса быстро затвердевала, и процесс перемешивания был затруднен.

Полученные образцы проверили на соответствие требованиям ГОСТ 6477-2019 [11] по органолептическим и физико-химическим показателям качества. Для определения технологических свойств измерили коэффициент растекания (контрольное значение – не более 3,0 см²/г).

Вкус и запах всех образцов были ясно выраженные с учетом используемого сырья, цвет равномерный, структура правильная, консистенция однородная, что соответствовало требованиям стандарта на карамель [11].

Таблица 2 – Соотношение разных видов пюре в экспериментальных образцах

Table 2 – The ratio of different types of mashed potatoes in experimental samples

№ образца	Содержание, %		
	сливок	пюре из	
		шиповника	облепихи
1 (контроль)	100,0	0	0
2	80,0	13,3	6,7
3	70,0	20,0	10,0
4	50,0	33,3	16,7

Таблица 3 – Физико-химические и технологические показатели экспериментальных образцов

Table 3 – Physico-chemical and technological parameters of experimental samples

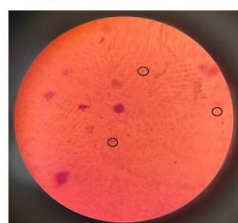
Наименование показателя	Нормативное значение для мягкой карамели (ГОСТ 6477-2019)	Значение показателей качества в образце			
		1	2	3	4
Массовая доля влаги, %	не более 15,0	14,0	14,2	14,8	15,0
Массовая доля редуцирующих веществ, %	не более 32,0	27,0	27,5	30,6	31,8
Коэффициент растекания, см ² /г	–	1,58	2,02	2,23	2,32

Все образцы соответствуют требованиям ГОСТ 6477-2019[11] (табл. 3). Но значения показателей у образца 4 приближаются к верхнему пороговому значению.

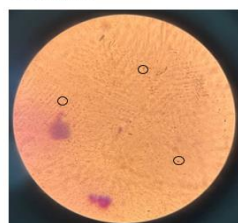
Полученные данные растекаемости позволяли судить о возможностях использования мягкой карамели как самостоятельно, так и в качестве полуфабриката в технологии мучных кондитерских изделий (наполнитель, начинка). Значение коэффициента растекания росло с увеличением количества ягодного пюре, введенного в рецептуру продукта. Таким образом, образец 2 обладает наилучшей величиной данной характеристики.

В связи с тем, что смесь пюре вносилась на этапе охлаждения карамельной массы и не проходила тепловую обработку с целью сохранения витаминного состава, проведено бактериоскопическое исследование образцов на способность к хранению. Эксперимент проводили в двух режимах – при температуре 4–6 °С и при температуре 20–25 °С.

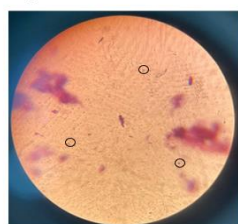
Образец №1(Контроль)



Образец №2



Образец №3



Образец №4

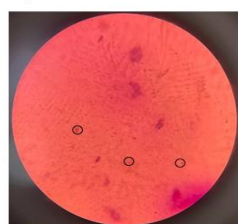


Рисунок 1 – Результаты бактериоскопического анализа на четвертые сутки (хранение при температуре 20–25 °С)

Figure 1 – Results of bacterioscopicanalysis on the fourth day (storage at a temperature of 20-25°C)

Результаты показали, что в случае хранения при комнатной температуре случаи присутствия микроорганизмов наблюдались уже на четвертые сутки хранения во всех продуктах (рисунок 1), а в случае хранения в холодильнике (при температуре 4–6 °С) первые единичные проявления были обнаружены в образцах (включая контроль) только на шестые сутки (рисунок 2).

Таким образом, можно сделать вывод, что введение пюре не оказывает существенного влияния на хранимоспособность мягкой карамели, при этом для обеспечения

безопасности продукта мягкую карамель необходимо хранить не более 7 суток при температуре 4–6 °С.

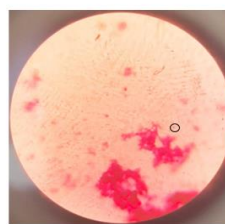
При разработке продукта функционального назначения главный показатель – пищевая ценность изделия, то есть обеспечение нутриентного состава, отвечающего задачам исследователя. Однако не следует забывать об органолептических показателях, которые формируют потребительские характеристики продукта: привлекательный внешний вид, приятный запах, а также хороший вкус.

Разработанные образцы подвергли экспертной дегустации (рисунок 3).

Образец №1(Контроль)



Образец №2



Образец №3



Образец №4

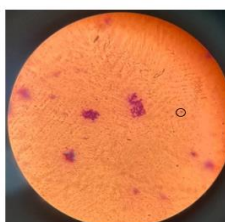


Рисунок 2 – Результаты бактериоскопического анализа на шестые сутки (хранение при температуре 4–6 °С)
Figure 2 – Results of bacterioscopic analysis on the fourth day (storage at a temperature of 4-6 °С)

В результате обработки результатов экспертной дегустационной оценки установлено, что самые низкие баллы были у образца 4 из-за неприятного приторного ягодного аромата и вкуса, а также наиболее жидкой среди других образцов консистенции. У образца 2 вкус и аромат слабовыраженные, что ухудшило потребительские свойства мягкой карамели. Наилучшие результаты получил образец 3, обладающий хорошей консистенцией, свойственной мягкой карамели, сбалансированным вкусом и ароматом.

Таким образом, комплекс исследований позволил сделать вывод, что наилучшими характеристиками как с точки зрения нормативных и технологических характеристик, так и потребительских свойств (рисунок 4) обладала мягкая карамель, в состав которой внесли сливки и ягодное пюре в соотношении 70/30 (таблица 4).

РАЗРАБОТКА МЯГКОЙ КАРАМЕЛИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

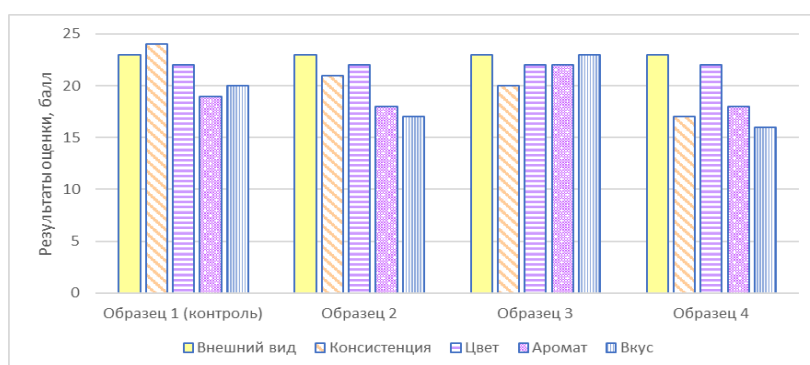


Рисунок 3 – Результаты дегустационной оценки образцов

Figure 3 – Sample tasting results



Рисунок 4 – Внешний вид мягкой карамели

Figure 4 – The appearance of soft caramel

Таблица 4 – Рецепт мягкой карамели функционального назначения

Table 4 – Recipe for soft caramel for functional purposes

№	Наименование сырья	Количество сырья, г
1	Сахар белый	54,8
2	Сливки 33 %	32,1
3	Инвертный сироп	7,7
4	Сливочное масло	18,4
5	Пюре шиповника	9,2
6	Пюре облепихи	4,8
	Итого	126,8
	Выход	100,0

Расчет пищевой ценности (таблица 5) показывает, что в 100 г карамели содержатся следующие витамины: А (151 мкг), С (54,6 мг), В1 (0,01 мг), В2 (0,05 мг), В4 (9,09 мг), В5 (0,16 мг), В6 (0,02 мг), В9 (0,06 мг), В12 (0,10 мкг), Е (0,53 мг), Н (0,98 мкг), К (3,26 мкг), РР (0,33 мг).

Таблица 5 – Пищевая ценность мягкой карамели функционального назначения

Table 5 – Nutritional value of soft caramel for functional purposes

Показатель	Суточная потребность	Содержание в 100г	Удовлетворение суточной нормы, %
Химический состав			
Белки, г	75	0,84	1,12
Жиры, г	83	13,47	16,23
Углеводы, г	365	46,99	12,87
в т.ч. моно- и дисахариды, г	—	46,49	—
Энергетическая ценность, ккал	2500	303	12,12
Витамины			
А, мкг	900	151,53	16,84
С, мг	90	54,56	60,62

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в результате комплекса проведенных исследований сформирована рецептура мягкой карамели функционального назначения за счет включения пюре шиповника и облепихи, содержащего витамины А и С, которые являются антиоксидантами и способствуют укреплению иммунитета. Разработанная технология предусматривает внесение функционального ингредиента на стадии охлаждения, что способствует сохранению термолабильного витамина С.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года. Москва. URL: <http://static.government.ru/media/files/9JUDtBOpqmoAatAhvT2wJ8UPT5Wq8qlo.pdf>. (дата

обращения: 19.05.2024).

2. Баласанян С.Ю. Обогащенные продукты питания стратегии улучшения пищевой ценности / С.Ю. Баласанян // Инновационная наука, 2024. № 1-1. С. 12–21.

3. Rosebay Willowherb (*Chamerion angustifolium*) in Food Products: Evaluation of the Residual Anti-radical Activity of Polyphenol Compounds and N-acetylcystein / V. Gorbachev, I. Nikitin, D. Velina [et al.] // Current Nutrition and Food Science, 2024. Vol. 20. No. 2. P. 220–226. DOI: 10.2174/1573401319666230330095521.

4. Питание и иммунитет / А.Т. Быков, Т.Н. Маляренко, Ю.М. Амбалов, Е.А. Смирнова // Лечебное дело : научно-практический терапевтический журнал, 2022. № 1(80). С. 47–58.

5. Роль витаминов и минералов в поддержании иммунитета при COVID-19 / С.В. Орлова, Е.А. Никитина, Е.В. Прокопенко [и др.] // Медицинский

алфавит, 2021. № 21. С. 12–21. DOI: 10.33667/2078-5631-2021-21-12-21.

6. Мингазова Э.Н., Гуреев С.А., Сидоров В.В. Современные технологии витаминизации в профилактике заболеваний (обзор зарубежной литературы). Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. 2020; 28(5):981–986. DOI: <http://dx.doi.org/10.32687/0869-866X-2020-28-5-981-986>.

7. Елисеева Л.Г. Новые направления разработки обогащенных пищевых продуктов для здорового питания / Л.Г. Елисеева, Ю.Д. Белкин, Д.В. Сими́на [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал, 2022. № 4(118). URL: <https://research-journal.org/archive/4-118-2022-april/novye-napravleniyarazrabotki-obogashennyx-pishhevyyx-produktov-dlya-zdorovogo-pitaniya>. (дата обращения 24.06.2024).

8. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации (МР2.3.1.0253-21). Москва, 2021. 72 с.

9. Using fish protein in innovative technologies of bakery and flour confectionery products / N.Yu. Klyuchko, D.A. Pozdnyakova, I.R. Romazyayeva, E.D. Kovaleva // Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry, 2022. No. 3. P. 98–105. DOI: 10.24143/2073-5529-2022-3-98-105.

10. Резниченко, И.Ю. Состав и регламентируемые показатели качества карамели функциональной направленности / И.Ю. Резниченко, Т.В. Рензеева, А.О. Рензеев // Техника и технология пищевых производств, 2020. Т. 50. № 2. С. 204–211. DOI: 10.21603/2074-9414-2020-2-204-211.

11. Кузнецова Е.А. Актуальные направления переработки плодоовощной продукции в диетические продукты питания // Вестник ВГУИТ, 2019. Т. 81. № 4. С. 147–152. doi: 10.20914/2310-1202-2019-4-147-152.

12. ГОСТ 6477-2019. Карамель. Общие технические условия. М. : Стандартинформ, 2019. 11 с.

13. ГОСТ 5897-90 Изделия кондитерские. Методы определения органолептических показателей качества, размеров, массы нетто и составных частей. М. : Стандартинформ, 2012. 16 с.

14. ГОСТ 5900-2014 Изделия кондитерские. Методы определения влаги и сухих веществ. М. : Стандартинформ, 2019. 12 с.

15. ГОСТ 5903-89 Изделия кондитерские. Методы определения сахара. М. : Стандартинформ, 2012. 106 с.

16. ГОСТ ISO 13299-2015 Органолептический анализ. Методология. Общее руководство по составлению органолептического профиля. М. : Стандартинформ, 2016. 23 с.

17. Соленая карамель: сайт. URL: <https://tehnolog.com/2018/05/12/solenaya-karamel-ttk2227/> (дата обращения: 03.06.2024).

Информация об авторах

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

Статья поступила в редакцию 30 августа 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 30 Aug 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.

С. Н. Тетфи́кова – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Пищевых технологий и биотехнологии» Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова.

О. А. Орловцева – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Пищевых технологий и биотехнологии» Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова.

Е. В. Арзамасова – студент 2 курса направления подготовки магистров 19.04.05 Московского государственного университета технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет).

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).

В. В. Горбачев – магистр кафедры аграрного и земельного права, и безопасности жизнедеятельности Государственного университета по землеустройству (ФГБОУ ВО ГУЗ).

И. А. Никитин – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Пищевых технологий и биотехнологии» Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова.

Information about the authors

S.N. Tefikova - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Biotechnology of Food Technology and Bioengineering, Plekhanov Russian University of Economics.

O.A. Orlovitseva - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Biotechnology of Food Technology and Bioengineering, Plekhanov Russian University of Economics.

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

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).

V.V. Gorbachev - Master's of Law of Department of Agrarian and Land Law, and Life Safety, State University of Land Management.

I.A. Nikitin - Doctor of Technical Sciences Head of the Department of Biotechnology of Food Technology and Bioengineering, Plekhanov Russian University of Economics.



Научная статья

4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)

УДК637.041.5

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.010



ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕДПОЧТЕНИЙ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НА РЫНКЕ МЯСНЫХ ПРОДУКТОВ И ОТНОШЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ К ПРОДУКТАМ ИЗ АЛЬТЕРНАТИВНОГО СЫРЬЯ

Антон Дмитриевич Лебедев ¹, Елена Владимировна Жиркова ²,
Станислав Викторович Колобов ³, Сергей Львович Калачев ⁴,
Петр Иванович Токарев ⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова», Москва, Россия

¹ a.d.lebedevv@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-9163-9286>

² Zhirkova.EV@rea.ru, <http://orcid.org/0000-0002-8934-4162>

³ Kolobov.SV@rea.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5536-6910>

⁴ Kalatchev.SL@rea.ru, <http://orcid.org/0009-0003-5926-4350>

⁵ Tokarev.PI@rea.ru

Аннотация. Мясные полуфабрикаты, наряду с обычным мясом, стали неотъемлемой частью повседневной жизни российского потребителя. Однако из-за высокой степени новизны остается неясным, как потребители относятся к этому виду пищевых продуктов, особенно с точки зрения представлений о его внутренних свойствах. Целью данного исследования является изучение предпочтений потребителей в выборе мясных полуфабрикатов в Москве и Московской области, а также об интересе к использованию альтернативного мяса для оценки стратегии развития мясной промышленности. Опрос проводился в сетевых магазинах розничной торговли, учитывались пол, занятость, и район проживания респондентов. В результате было выявлено, что предпочтительный мясной полуфабрикат для потребителей – котлеты, а также сосиски и сардельки. Наибольший интерес при приобретении отдается именно этим продуктам, приобретая их минимум несколько раз в месяц. Московские покупатели с большим интересом отнеслись к предложению попробовать полуфабрикаты из альтернативного мясного сырья, а именно верблюжатины.

Более того, в основе выбора мясных продуктов лежит их качество и безопасность, а недостаточная информативность потребительской маркировки – рекомендация к производителям для улучшения качества не только продукции, но и упаковки. Действительно, исследование показывает, что позитивная информация влияет на восприятие потребителями безопасности и питательных свойств мясных субпродуктов и, соответственно, на готовность платить более высокую цену за этот новый пищевой продукт.

Ключевые слова: мясо, мясные продукты, мясные полуфабрикаты, альтернативное мясо, верблюжати́на, потребительский рынок, анализ статистики, социальный опрос, исследование предпочтений, пищевая безопасность, качество продуктов.

Для цитирования: Исследование потребительских предпочтений потребителей на рынке мясных продуктов и отношения потребителей к продуктам из альтернативного сырья / А. Д. Лебедев [и др.] // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 61–66. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.010. EDN: <https://elibrary.ru/FWEDGK>.

Original article

RESEARCH OF CONSUMER PREFERENCES IN MEATPRODUCTS MARKET AND CONSUMER ATTITUDES TOWARDS PRODUCTS MADE FROMALTERNATIVE RAW MATERIALS

Anton D. Lebedev ¹, Elena V. Zhirkova ², Stanislav V. Kolobov ³,
Sergei L. Kalachev ⁴, Petr I. Tokarev ⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

¹ a.d.lebedevv@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-9163-9286>

² Zhirkova.EV@rea.ru, <http://orcid.org/0000-0002-8934-4162>

³ Kolobov.SV@rea.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5536-6910>

⁴ Kalatchev.SL@rea.ru, <http://orcid.org/0009-0003-5926-4350>

⁵ Tokarev.PI@rea.ru

Abstract. Semi-finished meat products, along with ordinary meat, have become an integral part of the daily life of the Russian consumer. However, due to the high degree of novelty, it remains unclear how consumers relate to this type of food, especially in terms of ideas about its internal properties. The purpose of this study is to study consumer prefer-

© Лебедев А. Д., Жиркова Е. В., Колобов С. В., Калачев С. Л., Токарев П. И., 2025

ences in choosing semi-finished meat products in Moscow and the Moscow region, as well as the interest in using alternative meat to assess the development strategy of the meat industry. The survey was conducted in chain retail stores, taking into account the gender, employment, and area of residence of the respondents.

As a result, it was revealed that the preferred meat semi-finished product for consumers is cutlets, as well as sausages and sausages. The greatest interest in purchasing is given to these products, purchasing them at least several times a month. Moscow buyers reacted with great interest to the offer to try semi-finished products from alternative meat raw materials, namely camel meat.

Moreover, the choice of meat products is based on their quality and safety, and the lack of informative consumer labeling is a recommendation to manufacturers to improve the quality of not only products, but also packaging. Indeed, the study shows that positive information influences consumers' perception of the safety and nutritional properties of meat offal and, accordingly, their willingness to pay a higher price for this new food product.

Keywords: meat, meat products, semi-finished meat products, alternative meat, camel meat, consumer market, statistical analysis, social survey, research of preferences, food safety, product quality.

For citation: Lebedev, A.D., Zhirkova, E.V., Kolobov, S.V., Kalachev, S.L. & Tokarev, P.I. (2025). Research of consumer preferences in meat products market and consumer attitudes towards products made from alternative raw materials. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 61-66. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.010. EDN: <https://elibrary.ru/FWEDGK>.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время с ростом осведомленности о здоровом питании и проблемах окружающей среды потребители все больше интересуются подлинностью продуктов питания и их происхождением, уникальными кулинарными традициями, качеством продуктов, а также влиянием производства на экологическую ситуацию и местную экономику [11]. Традиционные продукты питания в основном создаются с использованием натуральных, свежих, местных и сезонных ингредиентов, богатых питательными веществами. Традиционные, трудоемкие процессы, такие как ферментация, выдержка, консервация или медленное приготовление, способствуют уникальным и узнаваемым характеристикам и качеству традиционных продуктов питания. Кроме того, потребление традиционных продуктов питания способствует положительному экономическому эффекту и экономической устойчивости на местном уровне за счет поддержки фермеров и местного малого бизнеса, участвующих в них.

В настоящее время устойчивый рост мирового спроса на мясо формирует неустойчивую продовольственную систему. С 2001 по 2021 гг. мировое производство мяса увеличилось с 237,0 млн до 357,4 млн тонн [7]. По данным ОЭСР/ФАО (2022 г.) [6], прогнозируется, что мировое потребление мяса увеличится на 15 % до 2031 года с ростом населения мира.

За 2023 г. российские фермеры заготовили более 16 млн тонн крупного и мелкого рогатого скота, свиней, птицы. Убойная масса составила 11,5 млн тонн, что больше показателя за 2022 г. на 2 %. Структура по выпуску видов мяса не изменилась: 45,7 % – мясо птицы; 38,51 % – свинина; 14,04 % – говядина; 1,75 % – баранина и козлятина (рис. 1).

Заготовка мяса курицы в 2023 г. осталась примерно на уровне 2022 г. Всего в убойном весе было произведено 5,27 млн тонн курятины, что только на 0,1 % меньше показателя 2022 г [1].

Свиноводческая отрасль продолжает успешно развиваться и наращивать производственные объемы. Так, в 2023 г. российские животноводческие хозяйства заготовили 4,4 млн тонн мяса свиней в убойном весе, что на 4,9 % больше показателя 2022 г. В животноводческом сельском хозяйстве именно свиноводство является лидером по темпу роста [1].

В 2023 г. российские сельхозпроизводители заготовили 1,62 млн тонн говядины в убойном весе. Это на 1,9 % превышает значение 2022 г. Таким

образом, российское производство говядины тоже демонстрирует рост.



Рисунок 1 – Структура производства мяса по основным видам в РФ в 2023 году [1]

Figure 1 – The structure of meat production by main types in 2023 at Russian Federation

Суммарно в РФ заготовили 0,202 млн тонн баранины и козлятины в убойном весе. Производство этих видов мяса сократилось на 1,5 % в сравнении с 2022 г [1].

В 2023 г. россияне увеличили потребление птицы и свинины. Годовой объем потребления мяса на человека превысил 80 кг. Россельхозбанк полагает, что рост потребления мяса среди российских граждан будет продолжаться. Ожидается, в 2024 г. на душу населения в РФ станет потребляться около 83 кг мяса, что окажется выше на 3 % в сравнении с 2023 г [2].

Переход от обычного мяса к альтернативному и нетрадиционному рассматривается как шаг к устойчивому развитию и возможность создания отдельной подотрасли по переработке местного и альтернативного пищевого сырья.

Текущее состояние мясной промышленности находится под давлением из-за множества сопутствующих факторов. Согласно данным ОЭСР/ФАО [8], примерно 815 миллионов человек во всем мире испытывают нехватку продовольствия, и, по прогнозам, к 2050 году это число возрастет до 2 миллиардов. Более того, урбанизация, демографический рост и рост доходов в странах с формирующейся рыночной экономикой приведут к увеличению мирового потребления продуктов животного происхождения более чем на 66 % в тот же период.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕДПОЧТЕНИЙ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НА РЫНКЕ МЯСНЫХ ПРОДУКТОВ И ОТНОШЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ К ПРОДУКТАМ ИЗ АЛЬТЕРНАТИВНОГО СЫРЬЯ

С точки зрения здоровья, мясо нетрадиционных животных может снизить риск многих болезней.

Маркетологи и средства массовой информации продвигают на рынок нетрадиционные мясные продукты. Чтобы сделать нетрадиционное мясо привлекательным для потребителей, во многих исследованиях изучаются предпочтения потребителей в отношении данного мяса [3, 9, 10].

Однако роль факторов, влияющих на принятие альтернативного мяса, таких как привычность, проблемы со здоровьем, вкус и консистенция, безопасность и благополучие животных и др., изучены недостаточно полно.

Данное исследование призвано восполнить этот пробел в знаниях, проанализировав, в какой степени позитивная информация формирует у потребителей, проживающих в Москве и Московской области, желание попробовать продукты на основе нетрадиционного мясного сырья.

МЕТОДЫ

Восприятие потребителями мясных продуктов характеризуется оценками, присвоенными шести утверждениям, касающимся их убеждений относительно предпочтений в выборе мясных полуфабрикатов и полуфабрикатов из мяса альтернативных животных. Считается, что показатели потребительского отношения к мясным продуктам отражают их готовность попробовать, купить и заплатить за них более высокую цену [5].

Результаты нашего исследования позволяют сделать обоснованные предположения в отношении восприятия потребителями новых продуктов питания и их поведение по отношению к ним.

В период с апреля 2024 по август 2024 года в исследовании потребительских предпочтений мясной продукции был проведен очный социологический опрос в Московском регионе. В опросе приняло участие 900 респондентов. Среди мужчин наиболее представленные возрастные группы были 25–34 года (28 %), 35–44 года (17 %), и 18–24 года (26 %). Среди женщин наибольшее количество также приходится на возрастные группы 25–34 лет (28 %), 35–44 лет (17 %) и 18–24 года (26 %).

Среди респондентов 43 % работали на полную ставку, что указывает на высокий уровень занятости в выборке. 19 % имели частичную занятость, 11 % были безработными, что отражает экономическую ситуацию среди участников опроса. 18 % были студентами, что подчеркивает важность их мнения в качестве будущих потребителей. Десять процентов составили пенсионеры, что демонстрирует влияние возрастного состава на выбор продуктов.

В опросе также было учтено семейное положение респондентов. Наибольшее количество респондентов проживало в семьях с двумя членами (21 %) и тремя членами семьи (28 %) (табл. 1).

Из опрошенных респондентов в Москве проживает 65 % респондентов (585 человек), с наибольшей концентрацией в Центральном и Восточном округах (по 12 %). Северный и Западный округа также имеют значительное количество респондентов.

В Московской области проживает 35 % респондентов (315 человек), с наибольшей долей в Люберцах (8 %) и Балашихе (6 %). Остальные крупные города Подмосковья, такие как Мытищи, Химки и Одинцово, имеют чуть меньшую долю респондентов, представленную в выборке.

Таблица 1 – Состав респондентов, участвовавших в опросе

Table 1 – Groups of respondents who took part in the survey

Пол	18–24	25–34	35–44	45–54	55–64	65+	Всего
Мужчины	110	120	72	54	36	31	423
Женщины	124	132	81	54	45	41	477
Пол	Работающие (полный день)	Работающие (частичная занятость)	Безработные	Студенты	Пенсионеры	Всего	
Мужчины	190	80	45	86	22	423	
Женщины	197	91	54	76	59	477	

Информация о вопросах представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Вопросы и варианты ответов

Table 2 – Questions and answer options

Вопрос	Варианты ответа
1. Как часто вы приобретаете мясные полуфабрикаты?	- Очень часто (практически каждый раз при походе в магазин)
	- Часто (несколько раз в месяц)
	- Иногда (пару раз в месяц)
	- Редко (раз в месяц или реже)
	- Никогда (не покупаю)
2. Какой из следующих видов мясных полуфабрикатов вы предпочитаете?	- Замороженные котлеты
	- Колбаски и сосиски
	- Куриные наггетсы
	- Мясные шарики
	- Другие виды полуфабрикатов (например, пельмени, вареники)
3. Хотели бы вы приобретать продукцию из альтернативного мясного сырья, например, верблюжатины?	- Да, интересно попробовать (готовы купить для пробы)
	- Нет, не интересно (не испытываю желания попробовать)
	- Затрудняюсь ответить (недостаточно информации или сложно сказать)
4. Насколько для вас важна экологическая чистота продукции при выборе мясных продуктов?	- Очень важна (принципиально выбираю экологически чистые продукты)
	- Не особо важна (не всегда обращаю внимание на экологическую чистоту)
	- Не важна вообще (не имеет значения при выборе продуктов)
5. Готовы ли вы платить более высокую цену за продукты повышенного качества?	- Да, готов (готов платить больше за качественные продукты)
	- Нет, не готов (не готов платить больше за качество)
	- Затрудняюсь ответить (не уверен или сложно сказать)
6. Какой информации на маркировке альтернативного мясного сырья, в том числе из верблюжатины, Вам больше всего не хватает?	- О пищевой ценности (калорийность, содержание белков, жиров, углеводов)
	- О свойствах мяса (вкусовые качества, текстура, особенности приготовления)
	- О составе (ингредиенты, добавки, происхождение сырья)
	- Не отмечают (вся информация достаточна)

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для оценки потребительских предпочтений обработали 900 анкет, где были включены пол, социально-демографические данные и география проживания.

Из всей выборки 94,3 % потребителей хоть раз покупали мясные полуфабрикаты, когда как 5,7 % никогда этого не делали и не собираются. В целях экономии времени или по вкусовым предпочтениям 29,7 % опрошенных практически ежедневно приобретают мясные полуфабрикаты при походе в магазин. Несколько раз в месяц приобретают полуфабрикаты 22,9 % респондентов. Диаграмма ответов опрошенных на первый вопрос «Как часто вы приобретаете мясные полуфабрикаты?» (рис. 2).

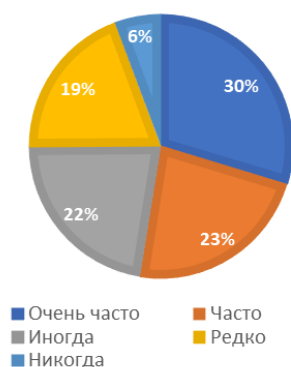


Рисунок 2 – Частота приобретения мясных полуфабрикатов

Figure 2 – Frequency of purchasing semi-finished meat products

Во втором вопросе о предпочтениях в выборе вида мясных полуфабрикатов большинство потребителей выбирало замороженные котлеты (41,3 %) или сосиски и колбаски (19,8 %). Куриные нагетсы получили поддержку 15,0 %. Фрикадельки составили 10,4 %, а 13,0 % потребителей указали на пристрастие к другим мясным продуктам, таким как пельмени или аналогичные альтернативы. Эти результаты подчеркивают популярность замороженных котлет среди потребителей, в то время как другие категории сохраняют умеренное присутствие на рынке (рис. 3).



Рисунок 3 – Предпочтения покупателей в отношении видов мясных полуфабрикатов

Figure 3 – Consumer preferences towards to types of semi-finished meat products

Данные опроса, касающегося интереса потребителей к изучению альтернативных вариантов мяса, таких как верблюжатина, позволяют сделать следующие выводы, что значительное большинство респондентов, составивших 58,4 % ($n = 526$), выразили желание ознакомиться с этими продуктами. И наоборот, значительная часть потребителей – 32,9 % ($n = 296$) – заявили о своей незаинтересованности, в то время как 8,7 % ($n = 78$) затруднились ответить. Результаты, представленные на рис. 4, свидетельствуют о значительном интересе потребителей к альтернативным источникам мяса, хотя 41,6 % респондентов относятся к нетрадиционному мясу скептически.



Рисунок 4 – Отношение потребителей к мясной продукции из верблюжатины

Figure 4 – Consumer attitudes towards camel meat products

Ответы на вопрос, касающийся важности экологической устойчивости при выборе мясных продуктов, свидетельствует о том, что значительное большинство респондентов, составивших 63,8 % ($n = 574$), считают экологическую чистоту продукции важнейшим фактором, определяющим их выбор при покупке. И наоборот, примерно 28 % ($n = 252$) выразили мнение, что экологические соображения имеют меньшее значение, в то время как 8,2 % ($n = 74$) указали, что эти факторы не оказывают существенного влияния на процесс принятия ими решений, что представлено на рисунке 5.

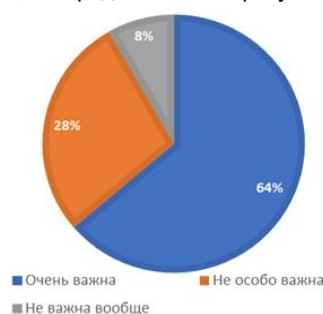


Рисунок 5 – Значимость экологической чистоты продукции при выборе мясных продуктов

Figure 5 – The importance of eco-friendly aspect in choosing meat products

Данные опроса о желании платить больше за мясные продукты высшего качества свидетельствуют о четкой тенденции. Большинство респондентов, 59,9 % ($n = 539$) выразили готовность платить. И наоборот, 29,8 % ($n = 268$) указали на нежелание нести дополнительные расходы, на приобретение высококачественных товаров. Меньшая доля, составляющая 10,3 % ($n = 93$), по-прежнему сомневалась в своей готовности переплачивать (рис. 6).

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕДПОЧТЕНИЙ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НА РЫНКЕ МЯСНЫХ ПРОДУКТОВ И ОТНОШЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ К ПРОДУКТАМ ИЗ АЛЬТЕРНАТИВНОГО СЫРЬЯ



Рисунок 6 – Готовность потребителей платить более высокую цену за продукцию повышенного качества
Figure 6 – Consumer willingness to pay a higher price for higher quality products

Результаты опроса, касающиеся информационных пробелов в маркировке альтернативных видов мяса, включая верблюжатину, свидетельствуют о необходимости большей ясности и детализации.



Рисунок 7 – Потребность покупателей в информации на маркировке продукции из альтернативного мясного сырья, в том числе верблюжатину
Figure 7 – Consumers' need for information on labeling of products made of alternative meat, including camel meat

Значительное большинство респондентов (43,2 %) сообщили об отсутствии достаточных знаний о свойствах мяса. Более того, 29,2 % участников выразили желание получить информацию о питательных веществах, подчеркнув важность предоставления потребителям четкой и краткой информации о пищевой ценности этих продуктов. Также 20,6 % респондентов отметили отсутствие четкого перечня ингредиентов на этикетках. И наоборот, лишь меньшинство респондентов, составляющее 7 %, не указали на какие-либо проблемы, связанные с существующей практикой маркировки (рис. 8).

ВЫВОДЫ

В ходе этого исследования была проведена оценка того, для каких убеждений относительно внутренних свойств и положительных внешних эффектов предоставления позитивной информации является достаточным инструментом для влияния на восприятие и принятие мясных продуктов группой московских потребителей. Анализ сегментации, основанный на социально-демографических характеристиках и структуре потребления мяса, показал, что дополнительная информация влияет на восприятие почти всех сегментов. Будущие исследования влияния информации на восприятие потребителями альтерна-

тивного мяса будут охватывать широкий спектр вопросов. На сегодняшний день исследования в основном сосредоточены на положительных аспектах разведения нетрадиционного скота, игнорируя критические соображения, которые могут возникнуть, такие как значительное потребление энергии, связанное с крупномасштабным выращиванием, финансовая жизнеспособность животноводства и сокращение площади сельскохозяйственных угодий, используемых для выращивания мясных животных.

Были изучены данные о восприятии и готовности попробовать, приобрести и оплатить продукт. Результаты нашего исследования показывают, что предоставленная информация существенно влияет на восприятие как безопасности, так и питательных свойств. Большинство современных потребителей мясной продукции зачастую приобретают полуфабрикаты из мяса с целью сэкономить личное время в условиях быстрого темпа жизни. Большее предпочтение покупатели отдают замороженным котлетам из-за трудоемкого процесса их приготовления. Интерес к новым видам полуфабрикатов также вызвал интерес у рецензентов, даже учитывая недостаточную информированность о преимуществах такого мяса, тоже отметили потребители при выделении основных аспектов, которые они замечают на маркировке полуфабрикатов. Имея на прилавках большой выбор продуктов питания для разных категорий граждан, основная часть потребителей готовы переплатить за более качественную продукцию.

Предварительные данные, на которых сосредоточено исследование, свидетельствуют о том, что на восприятие респондентов особое влияние оказала дополнительная информация, касающаяся двух неотъемлемых характеристик – питательных аспектов и безопасности мясных полуфабрикатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Российский статистический ежегодник. 2024 / Федеральная служба государственной статистики (Росстат). М., 2024. URL : <https://rosstat.gov.ru/>.
2. Шувалова Е. Россельхозбанк ожидает роста потребления мяса в этом году // Агроинвестор, 2023. 31.01.2023. Ст. 5. URL : <https://www.agroinvestor.ru/markets/news/40386-rosselkhozbank-ozhidaet-rosta-potrebleniya-myasa-v-etom-godu/>.
3. Wilks M., Phillips C.J.C., Fielding K., Homsey M.J. Testing potential psychological predictors of attitudes towards cultured meat. *Appetite* 2019, 136, 137–145.
4. Saatkamp H.W., Vissers L.S.M., van Horne P.L.M., de Jong I.C. Transition from Conventional Broiler Meat to Meat from Production Concepts with Higher Animal Welfare : Experiences from The Netherlands. *Animals* 2019, 9, 483.
5. Seehafer A.; Bartels M. Meat 2.0 – The Regulatory Environment of Plant-Based and Cultured Meat. *Eur. Food Feed Law Rev.* 2019, 14, 323–331.
6. Oecd F.A.O. OECD-FAO agricultural outlook 2022–2031. 2022. URL : <https://policycommons.net/artifacts/2652558/oecd-fao-agricultural-outlook-2022-2031/3675435/>.
7. FAO. (2023). World production meat, Total. – October 14, 2023. URL : <https://www.fao.org/faostat/en/#compare>.
8. FAO. World Livestock: Transforming the Livestock Sector through the Sustainable Development Goals; FAO: Rome, Italy, 2018.
9. Espinosa R., Tago D., Treich N. Infectious diseases and meat production // *Environmental and Resource Economics*. 2020. Т. 76. № 4. С. 1019–1044. URL : <https://link.springer.com/article/10.1007/s10640-020-00484-3>.
10. Федосеева О.В. Модели потребительского поведения в O2O-маркетинге // *Маркетинг: проблемы, решения, перспективы*. Том 1. М., 2022. С. 430–437.

11. Колобов С.В. Исследование ассортимента продуктов из нетрадиционного мясного сырья в московском регионе / Колобов С.В., Симакина М.А., Шагаева Н.Н., Зачесова И.А. // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2019. № 5 (58). С. 110–117.

Информация об авторах

А. Д. Лебедев – аспирант кафедры товарной экспертизы и таможенного дела ФГБОУ ВО «Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова».

С. В. Колобов – к.т.н., доцент кафедры товарной экспертизы и таможенного дела ФГБОУ ВО «Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова».

Е. В. Жиркова – к.т.н., доцент кафедры товарной экспертизы и таможенного дела ФГБОУ ВО «Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова».

С. Л. Калачев – к.т.н., доцент кафедры товарной экспертизы и таможенного дела ФГБОУ ВО «Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова».

П. И. Токарев – д.б.н., заведующий кафедрой товарной экспертизы и таможенного дела ФГБОУ ВО «Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова».

REFERENCES

1. Russian Statistical Yearbook. (2024). Federal State Statistics Service (Rosstat). Moscow. URL: <https://rosstat.gov.ru>. (In Russ).
2. Shuvalova, E. (2023). The Russian Bank expects Russia to replace me this year. Investor. 01/31/2023. page 5. URL : <https://www.agroinvestor.ru/markets/news/40386-rosselkhozbank-ozhidaet-rosta-potrebleniya-myasa-v-etom-godu>. (In Russ).
3. Wilkes, M., Phillips, K.J.S., Fielding, K., Hornsey, M.J. (2019). Testing of potential psychological factors affecting the attitude to meat crops Appetite, 136, 137-145.
4. Saatkamp, H.V., Vissers, L.S.M., Van Horn, P.L.M., de Jong, I.S. (2019). The transition from traditional broiler meat to meat based on the concept of production with a

higher degree of animal protection: the experience of the Netherlands. Animals, 9, 483.

5. Seehafer, Bartels M. (2019). Meat 2.0 - Regulatory framework for the production of meat of proper origin and cultured meat. Eur. The Law on Food and Compound Feeds, updated in 2019, 14, 323-331.

6. Oecd F. A. O. OECD-FAO Agricultural Forecast for 2022-2031. (2022). URL: <https://policycommons.net/artifacts/2652558/oecd-fao-agricultural-outlook-2022-2031/3675435/>.

7. FAO. (2023). World mint production, everything. October 14, 2023 URL : <https://www.fao.org/faostat/en/#compare>.

8. FAO. (2018). World animal husbandry: The transformation of the livestock sector within the framework of the whole of sustainable development; FAO: Rome, Italy,

9. Espinosa, R., Tago, D., Treich, N. (2020). Infectious diseases and meat production. Economics, Environment and Resources. vol. 76. No. 4. pp. 1019-1044. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10640-020-00484-3>.

10. Fedoseeva, O.V. (2022). Models of consumer behavior in O2O marketing. Marketing: problems, solutions, prospects. Vol. 1. Moscow : 2022. P. 430-437. (In Russ).

11. Kolobov, S.V., Simakina, M.A., Shagaeva, N.N., Zachesova, I.A. (2019). Study of the assortment of products from non-traditional meat raw materials in the Moscow region. Technology and commodity science of innovative food products. No. 5 (58). P. 110-117. (In Russ).

Information about the authors

A.D. Lebedev - graduate student of the department of Commodity expertise and customs affairs, Plekhanov Russian University of Economics.

S.V. Kolobov - candidate of technical sciences, associate professor of the department of Commodity expertise and customs affairs, Plekhanov Russian University of Economics.

E.V. Zhirkova - candidate of technical sciences, associate professor of the department of Commodity expertise and customs affairs, Plekhanov Russian University of Economics.

S.L. Kalachev - candidate of technical sciences, associate professor of the department of Commodity expertise and customs affairs, Plekhanov Russian University of Economics.

P.I. Tokarev - doctor of biological sciences, head of the department of Commodity expertise and customs affairs, Plekhanov Russian University of Economics.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 18 октября 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 18 Oct 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК664.38

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.011



СОЕВАЯ ОКАРА В ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОТЕИНОВЫХ БАТОНЧИКОВ

Жанна Александровна Кох ¹, Данил Андреевич Федченко ²

^{1,2} ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», г. Красноярск, Россия

¹ jannetta-83@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4016-7596>

² danil_fedchenko@list.ru, <https://orcid.org/0009-0000-3690-1482>

Аннотация. В настоящее время соя является самым культивируемым растением во всем мире. Из всех продуктов, получаемых из этого зерна, соевое молоко имеет очень высокую экономическую ценность, так как зерно не только продается, но и используется в качестве основы для приготовления множества продуктов питания, включая тофу (бобовый творог), соевую сыворотку, соевый йогурт и сыр на основе сои. Остаток, получаемый при измельчении соевых бобов после экстракции растворимой фракции в воде для получения соевого молока, называется окара. Поскольку окара является побочным продуктом, метод ее получения будет определяться исходя из параметров, позволяющих получить соевое молоко с высоким содержанием растворимых сухих веществ (особенно белков). Окара обычно очень быстро разлагается из-за высокой активности. Наиболее распространенным методом сохранения окары является сушка продукта сразу после его получения. Снеки, как продукты на основе злаков, являются наиболее часто потребляемыми и представляют собой важный источник крахмала и других пищевых углеводов, которые играют важную роль в энергетической потребности и потреблении питательных веществ человеком. Цель данной работы заключалась в разработке способа производства протеинового батончика с соевой окарой для достижения высокого содержания белка и улучшения его питательной ценности. Объектом данного исследования является технология производства протеинового батончика с использованием соевой окары. Соевая окара, полученная в результате производства соевого молока из скороспелых сортов сои «СИБНИИК», включенные в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в России, в Красноярском крае. По результатам научных исследований был разработан способ производства протеиновых батончиков, интеллектуальная собственность которого была защищена патентом РФ №2823964. На основании полученного патента была разработана технологическая схема производства протеинового батончика. В данном исследовании было установлено, что соевая окара может быть использована в качестве ингредиента для приготовления протеинового батончика с приемлемыми химическими и вкусовыми качествами. Кроме того, протеиновые батончики показали высокий уровень белка, а ингредиенты, использованные в рецептуре, позволили получить продукты, обогащенные полифенольными, минеральными веществами и пищевыми волокнами. Включение соевой окары в протеиновые батончики привело к значительному повышению питательной ценности продукта, а также предоставило новые альтернативы для использования побочного продукта в технологии соевого молока и помогло сократить количество отходов в окружающей среде.

Ключевые слова: соевая окара, биологически активные вещества, протеиновые батончики, патент, технология производства.

Для цитирования: Кох Ж. А., Федченко Д. А. Соевая окара в производстве протеиновых батончиков // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 67–71. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.011. EDN: <https://elibrary.ru/GFLJID>.

Original article

SOYA OKARA IN PRODUCTION OF PROTEIN BARS

Zhanna A. Koch ¹, Danil A. Fedchenko ²

^{1,2} Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

¹ jannetta-83@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4016-7596>

² danil_fedchenko@list.ru, <https://orcid.org/0009-0000-3690-1482>

Abstract. Soy is currently the most cultivated plant worldwide. Of all the products derived from this grain, soy milk has a very high economic value, as the grain is not only sold but also used as the basis for the preparation of many food products, including tofu (bean curd), soy whey, soy yogurt and soy-based cheese. The residue produced when soybeans are ground after extraction of the soluble fraction in water to produce soy milk is called okara. Since okara is a by-product, the method of its extraction will be determined based on the parameters to produce soy milk with a high soluble solid (especially protein) content. Okara usually degrades very quickly due to its high activity. The most common method of preserving okara is to dry the product immediately after it is obtained. Snacks, as cereal-based products, are the most commonly consumed and represent an important source of starch and other dietary carbohydrates, which play an important role in the energy requirements and nutrient intake of humans. The objective of this work was to develop a production method of protein bar with soybean okara to achieve high protein content and improve its nutritional value. The

© Кох Ж. А., Федченко Д. А., 2025

object of this study is the production technology of protein bar using soybean okra. Soybean pellets obtained as a result of soybean milk production from soybean varieties "SIBNIIC" included in the State Register of breeding achievements, allowed for use in Russia, in Krasnoyarsk region. According to the results of scientific researches the method of protein bars production was developed, the intellectual property of which was protected by the patent of the Russian Federation № 2823964. On the basis of the obtained patent the technological scheme of protein bar production was developed. In this study it was found that soybean okara can be used as an ingredient for the preparation of protein bars with acceptable chemical and flavor qualities. In addition, the protein bars showed high protein levels and the ingredients used in the formulation resulted in products enriched with polyphenols, minerals and dietary fiber. The inclusion of soy okra in the protein bars resulted in a significant increase in the nutritional value of the product, as well as providing new alternatives for the use of a by-product in soy milk technology and helping to reduce waste in the environment.

Keywords: soybean okra, biologically active substances, protein bars, patent, production technology.

For citation: Kokh, Zh.A. & Fedchenko, D.A. (2025). Soya okara in production of protein bars. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 67-71. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.011. EDN: <https://elibrary.ru/GFLJID>.

ВВЕДЕНИЕ

Соя – это культура с масличными семенами, которая выращивается уже более 3000 лет в Китае и других азиатских странах и имеет массовое потребление в Азии и на других континентах. В настоящее время соя является самым культивируемым растением во всем мире. Из всех продуктов, получаемых из этого зерна, соевое молоко имеет очень высокую экономическую ценность, так как зерно не только продается, но и используется в качестве основы для приготовления множества продуктов питания, включая тофу (бобовый творог), соевую сыворотку, соевый йогурт и сыр на основе сои. Остаток, получаемый при измельчении соевых бобов после экстракции растворимой фракции в воде для получения соевого молока, называется окарой. Из каждого килограмма переработанных соевых бобов для приготовления соевого молока получается примерно 1,2 кг свежей окары. Экстракция соевого молока подразумевает отделение жидкой фазы механическими методами [1, 8, 9]. Оставшаяся окара получается с различной степенью влажности в зависимости от эффективности, с которой жидкая фаза была удалена на предыдущем этапе. Эта эффективность зависит от метода, используемого для измельчения и отделения зерен, такого как дезинтегратор, штифтовая мельница или большой блендер из нержавеющей стали, с последующим центрифугированием или ручным отделением с помощью фильтров. Поэтому химический состав окары будет зависеть от количества водной фазы, которая извлекается из сои, а также от того, использовалась ли в процессе дополнительная вода для извлечения оставшихся компонентов [6]. Поскольку окара является побочным продуктом, метод ее получения будет определяться исходя из параметров, позволяющих получить соевое молоко с высоким содержанием растворимых сухих веществ (особенно белков). Окара обычно очень быстро разлагается из-за высокой активности. Наиболее распространенным методом сохранения окары является сушка продукта сразу после его получения. Окара обычно используется в качестве корма для животных, сжигается для получения энергии и выбрасывается в виде отходов, что в масштабах отрасли представляет собой потенциальную экологическую проблему из-за сочетания высокой влажности, белков и микробной нагрузки, что делает ее восприимчивой к процессам гниения. В настоящее время увеличилось количество исследований, изучающих использование окары для производства пробиотиков, биоокары, оздоровительных добавок, удобрений, композитов и различных других промышленных продуктов, включая закуску, печенье и т.д. [10, 12].

В настоящее время потребители все больше осознают важность диеты в связи с проблемами со здоровьем. Снеки, как продукты на основе злаков, являются наиболее часто потребляемыми и пред-

ставляют собой важный источник крахмала и других пищевых углеводов, которые играют важную роль в энергетической потребности и потреблении питательных веществ человеком. Однако эти продукты на основе злаков, как правило, содержат меньше некоторых питательных веществ, включая белок. В результате возникает спрос на злаковые снеки с повышенным содержанием питательных веществ. Многие исследователи изучали полезные для здоровья закуски с использованием гречихи, ячменя, пшеницы и проса. Идея создания продуктов на основе смеси зерновых и бобовых культур для борьбы с голодом и недоеданием в развивающихся странах возникла давно. Сорта сои различаются по содержанию сырого протеина и липидов, активности липоксигеназы и составу жирных кислот. Благодаря высокому содержанию белка, полиненасыщенной линолевой кислоты и изоцианов, соя считается функциональным продуктом питания. Этот факт вызвал большой интерес со стороны пищевой промышленности к включению ингредиентов из сои в продукты, которые обеспечивают полезные свойства для организма и которые называются «функциональными продуктами питания». С другой стороны, при производстве соевого молока и тофу образуется большое количество отходов, называемых окарой. Она считается побочным продуктом, и ее утилизация из-за большого количества воды представляет собой важную экологическую проблему. Сухая окара, которая содержит около 50 % диетических кислот, 25 % белка и 10 % липидов, является отличной альтернативой для включения в пищевые продукты не только как форма обогащения пищи, но и как способ использования и оценки этого остатка. Предоставляются инновационные и практические возможности для быстрого, легкого и доступного питания, с акцентом на протеиновые батончики. Батончики делятся на три типа: содержащие пропорциональное сочетание углеводов, белков и жиров, содержащие большое количество углеводов и меньшее количество жиров, и содержащие значительное количество белка. Несмотря на то, что высокобелковые батончики (или просто протеиновые батончики) изначально разрабатывались для спортсменов и участников соревнований, в последнее время они пользуются большой популярностью [9, 11, 12].

Таким образом, цель данной работы заключалась в разработке способа производства протеинового батончика с соевой окарой для достижения высокого содержания белка и улучшения его питательной ценности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом данного исследования является технология производства протеинового батончика с использованием соевой окары [5]. Соевая окара, полученная в результате производства соевого молока из

СОЕВАЯ ОКАРА В ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОТЕИНОВЫХ БАТОНЧИКОВ

скороспелых сортов сои «СИБНИИК», включенные в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в России, в Красноярском крае. Нормативный документ, в соответствии с которым проводили исследование протеиновых батончиков ГОСТ 34621-2019 «Продукция пищевая специализированная. Напитки белковые, белково-углеводные и углеводно-белковые сухие для питания спортсменов. Общие технические условия». Исследование готового продукта проводили с помощью стандартных и общепринятых методов. Массовую долю влаги определяли согласно ГОСТ 5900-2014, золы – по ГОСТ 5901-2014, белка – по методу Кельдаля (ГОСТ 7636), кислотность определяли титриметрическим методом, определение содержания полифенольных веществ проводили модифицированным методом Фолина-Чокальтеу. Оценку органолептических показателей протеиновых батончиков проводили методом балльной оценки с учетом коэффициентов весомости органолептических показателей. Оценивали цвет, запах, вкус, структуру и консистенцию, поверхность в соответствии с ГОСТ 31986-2012. В результате осуществления способа производства протеиновых батончиков было выполнено три примера, отличающиеся между собой различным соотношением ингредиентов (табл. 1).

Таблица 1 – Соотношение рецептурных ингредиентов для производства протеиновых батончиков

Table 1 – Ratio of prescription ingredients for the production of protein bars

Наименование ингредиента	Соотношение исходных компонентов в мас. %			
	Контр. обр.	Пример 1	Пример 2	Пример 3
Семена льна	20,0	–	–	–
Биоактивированные семена льна	–	21,50	23,00	25,50
Выжимки смородины черной	–	18,50	19,50	20,00
Жмых из ядер кедрового ореха	35,0	15,00	16,85	17,50
Соевая окара	–	12,50	13,50	14,50
Кислота лимонная	0,03	0,03	0,04	0,05
Глюкозно-фруктозный сироп	25,0	10,00	11,00	12,00
Сахар белый	остальное			

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам научных исследований был разработан способ производства протеиновых батончиков, интеллектуальная собственность которого была защищена патентом РФ № 2823964 [5]. На основании полученного патента была разработана технологическая схема производства протеинового батончика, приведенная на рисунке 1.

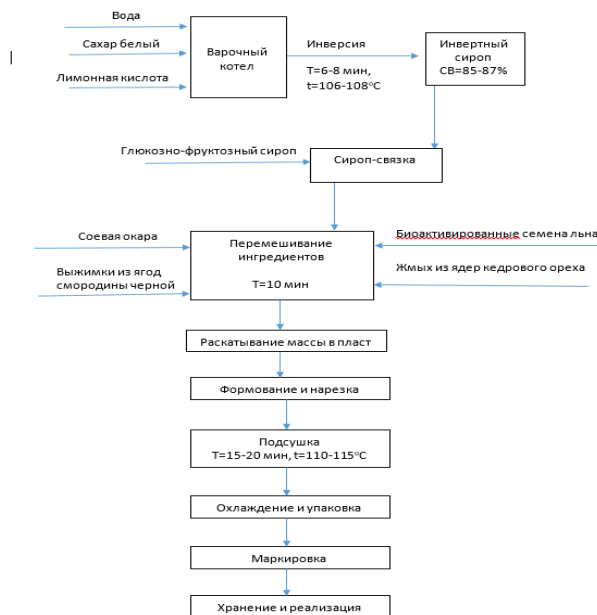


Рисунок 1 – Технологическая схема производства протеинового батончика

Figure 1 – Technological scheme of protein bar production

Технологическая схема производства протеинового батончика, представленная на рисунке 1, включает подготовку и дозирование сырья, приготовление сиропа-связки путем смешивания инвертного сиропа на основе раствора сахара белого с лимонной кислотой и сиропа-связки, содержащего глюкозно-фруктозный сироп, внесение в сироп-связку сухих рецептурных компонентов в виде биоактивированных семян льна, выжимок смородины черной, жмыха из ядер кедрового ореха, соевой окары.

Биоактивированные семена льна – это источник основных функциональных пищевых ингредиентов и биологически активных веществ, а именно эссенциальными полиненасыщенными жирными кислотами,

полноценным белком, пищевыми волокнами. Биоактивированные семена льна содержат большое количество лигнанов, относящихся к группе фитоэстрогенов, которые поддерживают важнейшие физиологические функции организма человека [5, 9, 10].

Жмых из ядер кедрового ореха является побочным продуктом пищевого масложирового производства, но в то же время он является ценным источником пищевых волокон, природных антиоксидантов и полиненасыщенных жирных кислот. Кроме того, жмых ядер кедрового ореха является богатым источником биологически активных соединений. Большая часть фенолов в кедровом орехе присутствует в обезжиренном жмыхе ядер кедрового ореха, и эти антиоксидантные соедине-

ния остаются в жмыхе после холодного прессования. Кроме того, жмых ядер кедрового ореха содержит большое количество токоферола, который играет важную роль в здоровье человека. Жмых из ядер кедрового ореха богат как линолевой кислотой, так и α -линоленовой кислотой. Эти соединения вносят важный вклад в здоровье человека благодаря своим полезным эффектам, таким как защита от развития ишемической болезни сердца и внезапной сердечной смерти, снижение уровня холестерина в крови [5].

Выжимки черной смородины (*Ribesnigrum*) представляют собой отход производства сока, которые состоят в основном из пищевых волокон, кожуры и семян. Выжимки черной смородины содержат высокоантиоксидантные полифенолы, цианидин и дельфинидин рутинозида и другими биологически активными веществами, изначально присутствующих в ягодах, но и большое количество полисахаридов кле-

точных стенок, которые могут быть ценными источниками соединений, укрепляющих здоровье [5, 12].

Соевая окара богата жирами, поскольку является побочным продуктом, полученным из семян сои с высоким процентом жира: 18–22 %. Более того, высокое количество растительного белка в окаре, более 30 %, и значительное количество жира, богатого линолевой и олеиновой кислотами, доказывают, что этот побочный продукт очень интересен с точки зрения обогащения пищевых продуктов [4, 5, 12].

Глюкозо-фруктозный сироп практически идентичен по физико-химическим и органолептическим характеристикам сахарозе. Сироп может улучшить текстуру, предотвратить кристаллизацию и помочь достичь желаемой консистенции (хрустящей или влажной) [5].

Органолептические и физико-химические показатели качества протеинового батончика представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Органолептические и физико-химические показатели качества протеиновых батончиков

Table 2 – Organoleptic and physico-chemical quality indicators of protein bars

Наименование показателя	Результаты анализа по примерам			
	Контр. образец	Пример 1	Пример 2	Пример 3
Органолептические показатели				
Вкус и запах	Запах и вкус соответствует используемым компонентам, без постороннего привкуса и запаха	Гармоничный вкус, пикантным послевкусием ягод смородины и кедрового ореха, запах соответствует используемым компонентам, без постороннего привкуса и запаха		
Поверхность	Ровная, без трещин	Ровная, без трещин		
Цвет	Равномерный	Окраска равномерная, достаточно выраженная, бордовый		
Структура и консистенция	Однородная	Однородная, со стабильной структурой		
Физико-химические показатели				
Кислотность, град	0,7	0,9	1,1	1,2
Массовая доля влаги, %	9,6	9,4	9,7	10,2
Массовая доля золы, %	1,1	2,4	2,6	2,9
Полифенольные вещества, %	0,5	2,83	2,91	3,05
Пищевые волокна, %	11,3	16,6	17,3	18,0
Белок, %	5,2	25,6	26,1	26,5

Анализ таблицы 2 позволяет сделать вывод о том, что использование соевой окары, биоактивированных семян льна и жмыха из ядер кедрового ореха в технологии производства протеинового батончика обогащает продукт полноценным белком, а также за счет использования дополнительного ингредиента рецептуры, такого как выжимки смородины черной, протеиновый батончик обогащается полифенольными веществами, пищевыми волокнами и минеральными компонентами. Полученные протеиновые батончики обладают улучшенными органолептическими свойствами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на то, что соевая окара является побочным продуктом, в ней содержится много биологически активных компонентов. В данном исследовании было установлено, что соевая окара может быть использована в качестве ингредиента для приготовления протеинового батончика с приемлемыми химическими и вкусовыми качествами. Кроме того, протеиновые батончики показали высокий уровень белка, а ингредиенты, использованные в рецептуре, позволили получить продукты, обогащенные полифенольными, минеральными веществами и пищевыми волокнами. Включение соевой окары в протеиновые батончики привело к значительному повышению питательной ценности продукта, а также предоставило новые альтернативы для использования побочного продукта в технологии соевого молока и помогло сократить количество отходов в окружающей среде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Изучение особенностей состава, технологических схем производства и разработка классификации протеиновых батончиков / С.Е. Томашевич, А.Н. Лилишенцева, Ю.А. Медведева // Пищевая промышленность: наука и технологии. 2017. № 4(38). С. 33–42.
2. Соколова А.А., Абросимов Р.Е. Целесообразность использования биоактивированного зерна овса голозерного в рецептурном составе пищевых продуктов // Science startup: students' meeting in Siberia : материалы сибирского международного студенческого аграрного форума, Красноярск, 22–24 ноября 2022 года. Красноярск : Красноярский государственный аграрный университет, 2023. С. 131–134.
3. Совершенствование технологии подготовки зерна к переработке / И.В. Мацкевич, В.Н. Невзоров, Ж.А. Кох, Д.С. Безъязыков // Научно-практические аспекты развития АПК : материалы национальной научной конференции, Красноярск, 12 ноября 2020 года. Красноярск : Красноярский государственный аграрный университет, 2020. С. 25–27.
4. Федченко Д.А., Суппес А.А. Использование нетрадиционного растительного сырья в производстве батончиков мюсли // Студенческая наука – взгляд в будущее : материалы XVIII Всероссийской студенческой научной конференции, Красноярск, 15–17 марта 2023 года. Том Часть 6. Красноярск : Красноярский государственный аграрный университет, 2023. С. 125–128.
5. Патент № 2823964 С1 Российская Федерация, МПК А23L 7/10. способ производства протеиновых батончиков: № 2023121284: заявл. 14.08.2023: опубл. 30.07.2024 / Ж.А. Кох, Д.А. Федченко, А.А. Суппес ; заявитель Федеральное государственное бюджетное обра-

СОЕВАЯ ОКАРА В ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОТЕИНОВЫХ БАТОНЧИКОВ

зовательное учреждение высшего образования "Красноярский государственный аграрный университет".

6. Самофалова Л.А. [и др.]. Выбор технологических параметров получения устойчивой дисперсной системы растительной основы из биоактивированных двухдольных семян. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий, 2016. С. 221–226.

7. Зямилова Г.Р. Зерновые батончики как полезный и питательный продукт для учащейся молодежи // Аспирант и соискатель. 2019. № 4. С. 35–37.

8. Ольховатов Е.А., Айрумян В.Ю. Работа по созданию соевых продуктов лечебно-профилактического назначения из сырьевых ресурсов переработки бобов сои современных отечественных сортов // Научные труды КубГТУ. 2017. № 5. С. 163–171.

9. Ефимова В.А., Ефременко Е.С. Роль протеиновых батончиков в питании человека // Тенденции развития науки и образования, 2024. № 109–10. С. 66–69. DOI 10.18411/trnio-05-2024-516.

10. Некрасова Ю.О., Мезенова О.Я. О применении вторичных пищевых ресурсов в технологии продуктов спортивного назначения // Инновации в индустрии питания и сервисе : электронный сборник материалов IV Международной научно-практической конференции ; Краснодар, 27 ноября 2020 года. Краснодар : КубГТУ, 2020. С. 545–548.

11. Некрасова Ю.О., Мезенова О.Я. Батончики-снеки для спортивного питания: маркетинговое исследование и технология // Вестник молодежной науки, 2020. № 3. 8 с.

12. Бородулина К.А. Протеиновые батончики: характеристика, функциональные свойства и применение в питания спортсменов // Безопасность и качество сельскохозяйственного сырья и продовольствия-2023: материалы Всероссийской научно-практической конференции, Москва, 22-23 ноября 2023 года. Москва: ООО "Сам Полиграфист", 2023. С. 288–291.

Информация об авторах

Ж. А. Кох – к.т.н., доцент кафедры технологии, оборудования бродильных и пищевых производств ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет».

Д. А. Федченко – магистр кафедры товароведения и управление качеством продукции ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет».

REFERENCES

1. Tomashevich, S.E., Lilishentseva, A.N. & Medvedeva, Y.A. (2017). Study of the features of composition, technological schemes of production and development of classification of protein bars. Food Industry: Science and Technology. 4(38). 33-42. (In Russ.).

2. Sokolova, A.A. & Abrosimov, R.E. (2023). The feasibility of using bioactivated grain of holo-grain oats in the formulation of food products. Science start up: students' meeting in Siberia: Proceedings of the Siberian International Student Agrarian Forum, Krasnoyarsk, November 22-24, 2022. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University, 2023. С. 131-134. (In Russ.).

3. Matskevich, I.V., Nevzorov, V.N., Kokh, J.A. & Bezyazykov, D.S. (2020). Improvement of the technology of

grain preparation for processing. Scientific and practical aspects of agroindustrial complex development: Proceedings of the national scientific conference, Krasnoyarsk, November 12, 2020. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University, 2020. С. 25-27. (In Russ.).

4. Fedchenko, D.A. & Suppes, A.A. (2023). The use of non-traditional vegetable raw materials in the production of granola bars. Student Science - a look into the future: Proceedings of the XVIII All-Russian Student Scientific Conference, Krasnoyarsk, March 15-17, 2023. Vol. Part 6. Krasnoyarsk : Krasnoyarsk State Agrarian University, 2023. С. 125-128. (In Russ.).

5. Patent No.2823964 C1 (2023). Russian Federation, MPC A23L 7/10. method of production of protein bars: No. 2023121284: applied. 14.08.2023: published 30.07.2024 / J.A. Kokh, D.A. Fedchenko, A.A. Suppes ; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Krasnoyarsk State Agrarian University". (In Russ.).

6. Samofalova, L.A. [et al.]. (2016). Selection of technological parameters for obtaining a stable dispersed system of plant base from bioactivated dicotyledonous seeds. Bulletin of Voronezh State University of Engineering Technologies. С. 221-226, 2016. (In Russ.).

7. Zyamilova, G.R. (2019). Grain bars as a useful and nutritious product for students. Aspirant and Applicant. No. 4. С. 35-37. (In Russ.).

8. Olhovatov, E.A. & Ayrumyan, V.Y. (2017). Work on the creation of soybean products of therapeutic and preventive purpose from raw materials of soybean processing of modern domestic varieties. Scientific Proceedings of KubGTU. No. 5. С. 163-171. (In Russ.).

9. Efimova, V.A. & Efremenko, E.S. (2024). The role of protein bars in human nutrition. Trends in the development of science and education. No. 109-10. С. 66-69. DOI: 10.18411/trnio-05-2024-516. (In Russ.).

10. Nekrasova, Y.O. & Mezenova, O.Y. (2020). On the use of secondary food resources in the technology of sports products. Innovations in the food and service industry: electronic collection of materials of the IV International Scientific and Practical Conference, Krasnodar, November 27, 2020. Krasnodar : KubGTU, 2020. С. 545-548. (In Russ.).

11. Nekrasova, Yu.O. Snack bars for sports nutrition: marketing research and technology / Yu.O. Nekrasova, O.Y. Mezenova // Bulletin of Youth Science. 2020. No. 3. 8 с.

12. Borodulina, K.A. (2023). Protein bars: characteristics, functional properties and application in the nutrition of athletes. Safety and quality of agricultural raw materials and food-2023: materials of the All-Russian scientific and practical conference, Moscow, November 22-23, 2023. Moscow : LLC "Sam Polygraphist", 2023. С. 288-291. (In Russ.).

Information about the authors

Zh.A. Kokh - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology, equipment of fermentation and food production of FSBEI VO "Krasnoyarsk State Agrarian University".

D.A. Fedchenko - Master of Science, Department of Commodity Science and Product Quality Management, FSBEIU VO "Krasnoyarsk State Agrarian University".

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 22 октября 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 22 Oct 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.38

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.012



МОДИФИКАЦИЯ БЕЛКОВ ГОРОХОВОЙ МУКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВОГО ШТАММА МОЛОЧНОКИСЛЫХ БАКТЕРИЙ

Денис Сергеевич Куликов ¹, Рузалия Владимировна Уланова ²,
Алексей Александрович Королев ³, Алексей Владимирович Синельников ⁴,
Зоя Ивановна Калугина ⁵

^{1, 3, 5} Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, Видное, Московская область, Россия

¹ d.kulikov@fncps.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2171-0522>

³ a.korolev@fncps.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7144-2522>

⁵ z.kalugina@fncps.ru, <https://orcid.org/0009-0007-9254-6009>

^{2, 4} Институт микробиологии имени С.Н. Виноградского Федерального исследовательского центра «Фундаментальные основы биотехнологии» Российской академии наук, Москва, Россия

² colodovnicova@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6315-7211>

⁴ sinelnikov11@ya.ru

Аннотация. Для расширения ассортимента белковых продуктов из гороха с высокой биологической ценностью и функционально-технологическими свойствами, перспективны исследования в области лакто-ферментации растительного сырья. Цель работы – исследование изменений функционально-технологических свойств и биологической ценности белков гороховой муки, ферментированной новым штаммом молочнокислых бактерий *Lactocaseibacillus rhamnosus* KM-1. После модификации муки в течение 24 и 48 часов установлено увеличение зольных элементов на 61,1–72,5 %, что объясняется накоплением в процессе ферментации лактата натрия. Ферментированная мука усваивалась *in vitro* лучше контроля на 10,77–11,66 %, увеличены: водосвязывающая (на 16,3–22,2 %), пенообразующая (в 2,15–2,22 раза), жиросвязывающая (в 2,87–3,43 раза) способности, кислоторастворимая (на 28,57–96,55 %), спирторастворимая (в 12,2–15,8 раза) и солерастворимая (в 8,09–18,00 раз) фракции белков, содержание ароматических аминокислот – фенилаланина (на 16,7–22,3 %) и тирозина (на 53,0–56,8 %), а также биологическая ценность белка (на 11,66–12,04 %). Отмечено, что в ферментированной в течение 48 часов гороховой муке, по сравнению с односуточной модификацией, сократилось содержание лизина, аргинина, соле- и спирторастворимых фракций белков, а также практически не изменились показатели функционально-технологических свойств, усвояемости и биологической ценности белков, что говорит о целесообразности увеличения продолжительности ферментации лактобактериями более одних суток. Образцы ферментированной муки имели вкус и запах, свойственный молочнокислым бактериям со слабым привкусом гороха, и темно-кремовый цвет, образовавшийся в результате термической обработки горохового экстракта в процессе приготовления питательной среды перед посевом лактобактерий. С учетом высокого количества белка, увеличенных показателей связывать воду и жир и образовывать пену, ферментированную гороховую муку, полученную с применением нового штамма молочнокислых бактерий, целесообразно рекомендовать для использования в качестве белковой добавки при изготовлении продуктов типа «растительное мясо» и кондитерских изделий.

Ключевые слова: гороховая мука, лактобактерии, ферментация, белок, модификация, функциональные свойства, аминокислотный состав, усвояемость, биологическая ценность.

Сведения об источнике финансирования: работа выполнена за счет финансирования Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки РФ).

Для цитирования: Модификация белков гороховой муки с использованием нового штамма молочнокислых бактерий / Д. С. Куликов [и др.] // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 72–78. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.012. EDN: <https://elibrary.ru/DZQNIP>.

Original article

MODIFICATION OF PEA FLOUR PROTEINS USING A NEW STRAIN OF LACTIC ACID BACTERIA

Denis S. Kulikov ¹, Ruzalia V. Ulanova ², Alexey A. Korolev ³,
Alexey V. Sinelnikov ⁴, Zoya I. Kalugina ⁵

^{1, 3, 5} Russian Research Institute of Canning Technology - branch of Gorbato Federal Research Center for Food Systems of the RAS, Vidnoe, Moscow region, Russia

© Куликов Д. С., Уланова Р. В., Королев А. А., Синельников А. В., Калугина З. И., 2025

МОДИФИКАЦИЯ БЕЛКОВ ГОРОХОВОЙ МУКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВОГО ШТАММА МОЛОЧНОКИСЛЫХ БАКТЕРИЙ

¹ d.kulikov@fncps.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2171-0522>

³ a.korolev@fncps.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7144-2522>

⁵ z.kalugina@fncps.ru, <https://orcid.org/0009-0007-9254-6009>

^{2,4} Vinogradsky Institute of Microbiology, Federal Research Center of Biotechnology of the RAS, Moscow, Russia

² colodovnicova@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6315-7211>

⁴ sinelnikov11@ya.ru

Abstract. To expand the range of protein products from peas with high biological value and functional and technological properties, research in the field of lactofermentation of plant materials is promising. The aim of the work is to study changes in the functional and technological properties and biological value of proteins in pea flour fermented with a new strain of lactic acid bacteria *Lactocaseibacillus rhamnosus* KM-1. After modification of flour for 24 and 48 hours, an increase in ash elements by 61.1–72.5% was found, which is explained by the accumulation of sodium lactate during the fermentation process. Fermented flour was digested *in vitro* better than the control by 10.77–11.66%, with increased water-binding (by 16.3–22.2%), foaming (by 2.15–2.22 times), fat-binding (by 2.87–3.43 times) capacities, acid-soluble (by 28.57–96.55%), alcohol-soluble (by 12.2–15.8 times) and salt-soluble (by 8.09–18.00 times) fractions of proteins, content of aromatic amino acids – phenylalanine (by 16.7–22.3%) and tyrosine (by 53.0–56.8%), as well as biological value of protein (by 11.66–12.04%). It was noted that in pea flour fermented for 48 hours, compared to one-day modification, the content of lysine, arginine, salt- and alcohol-soluble fractions of proteins decreased, and the indices of functional and technological properties, digestibility and biological value of proteins practically did not change, which indicates the inexpediency of increasing the duration of fermentation by lactobacilli for more than one day. Samples of fermented flour had a taste and smell characteristic of lactic acid bacteria with a slight pea flavor, and a dark cream color formed as a result of heat treatment of pea extract during the preparation of the nutrient medium before sowing lactobacilli. Given the high amount of protein, increased indices of binding water and fat and forming foam, fermented pea flour obtained using the new strain of lactic acid bacteria, it is advisable to recommend for use as a protein additive in the manufacture of "vegetable meat" type products and confectionery.

Keywords: pea flour, lactobacilli, fermentation, protein, modification, functional properties, amino acid composition, digestibility, biological value.

Information about the source of funding: The work was financed by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Ministry of Education and Science of the Russian Federation).

For citation: Kulikov, D.S., Ulanova, R.V., Korolev, A.A., Sinelnikov, A.V. & Kalugina, Z.I. (2025). Modification of Pea Flour Proteins Using a New Strain of Lactic Acid Bacteria. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 72-78. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.012. EDN: <https://elibrary.ru/DZQNIP>.

ВВЕДЕНИЕ

Горох (*Pisum sativum* L.) – перспективная растительная культура Российской Федерации для получения альтернативных животному сырью белковых продуктов за счет высоких валовых сборов, низкой себестоимости и экологичности производства, а также малого количества аллергенов и антипитательных веществ [1–4]. Однако сравнительно с белками животного происхождения низкая усвояемость, присутствие бобового вкуса и запаха, а также низкие показатели функционально-технологических свойств (ФТС), определяющие качество белковых продуктов: растворимость, водосвязывающая (ВСС), жиросвязывающая (ЖСС), пенообразующая (ПОС), эмульгирующая (ЖЭС) способности, стабильность пены (СП) и эмульсии (СЭ), ограничивают применение горохового протеина в пищевых продуктах [5, 6]. Среди известных способов модификации биотехнологическая обработка растительных белков отличается высокой специфичностью, воспроизводимостью, экономичностью и экологичностью. Модификацию проводят с использованием различных штаммов молочнокислых бактерий, дрожжей и микромицетов, а также ферментных препаратов, полученных на их основе [7–11]. Ферментация, как правило, в течение 24–48 часов с использованием лактобактерий имеет ряд преимуществ, среди которых: улучшение пищевой ценности и усвояемости, подавление роста нежелательной микрофлоры субстрата, увеличение срока годности, улучшение вкуса и текстуры ферментированного продукта, изменение аминокислотного состава его белков, увеличение содержания солевых элементов и фенольных соединений. Дальнейшее увеличение продолжительности ферментации лактобактериями приводит к ухудшению органолептических

показателей и ФТС ферментированных продуктов [8, 12, 13]. С учетом вышеизложенного, ферментация белковых продуктов молочнокислыми бактериями является перспективным направлением увеличения биологической ценности, функционально-технологических свойств и расширения ассортиментной линейки пищевых протеинов.

В институте микробиологии им. С.Н. Виноградского получен и депонирован новый штамм лактобактерий *Lactocaseibacillus rhamnosus* KM-1, обладающий большим потенциалом в технологии модификации растительных белков [14]. В связи с этим, **цель работы** – изучение изменений функционально-технологических свойств и биологической ценности белков гороховой муки, ферментированной новым штаммом молочнокислых бактерий *Lactocaseibacillus rhamnosus* KM-1.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследований служили: штамм лактобактерий *L. Rhamnosus* KM-1 – грамположительная, гомотрементативная факультативно-анаэробная культура из коллекции института микробиологии им. С.Н. Виноградского. Штамм выделен из кумыса, произведенного в летний период в Башкирии (Россия), депонирован в ЦКП «Коллекция уникальных и экстремофильных микроорганизмов различных физиологических групп биотехнологического назначения (UNIQEM)» ФИЦ Биотехнологии РАН под регистрационным номером UQM 41618 и хранится в криоконсервированном виде; гороховая белковая мука «Blindemass, BRAG» (Австрия).

Приготовление питательной среды. Экстракцию щелочерастворимых фракций белков и углеводов из гороховой муки проводили с 0,2 % раствором NaOH, при гидромодуле 1:7, температуре 90±1 °C и перемешивании

в течение 30 мин, суспензию фильтровали через тканевый фильтр, нерастворимые частицы удаляли. Далее экстракт подвергали термообработке при 115 ± 1 °C в течение 30 мин, затем охлаждали до 37 ± 1 °C.

Подготовка инокулята и ферментация. Экстракты муки гороха инокулировали 24-часовыми культурами лактобактерий, выращенными на стерильном обезжиренном молоке (ОАО «Северное Молоко») при 37 ± 1 °C и внесенными в соотношении «инокулят-среда» 0,3–0,5 % (об/об) до начального титра клеток 10^4 КОЕ/мл. Образцы инкубировали в термостате в стационарных условиях при температуре 37 ± 1 °C, в течение 24 и 48 часов, затем охлаждали до температуры 5 ± 2 °C. Ферментированные образцы высушивали на лиофильной установке Free Zone Labconco, США (на базе ЦКП «Коллекция UNIQEM») в вакууме при -80 °C.

Массовую долю влаги в продуктах определяли по ГОСТ 13586.5-93; общих азотистых веществ ($N \times 6,25$) – по ГОСТ 10846-91; зольности – по ГОСТ 27494-2016; жира – по ГОСТ 29033-91; углеводов – по разнице между 100 % и суммой остальных компонентов. Измерения показателя кислотности проводили с использованием pH-метра 150 МИ (ООО «Измерительная техника»). Функционально-технологические свойства и фракционный состав белков исследовали по методикам, указанным в работах [15–17].

Аминокислотный состав исходной и ферментированной муки определяли с использованием жидкостного хроматографа фирмы «Hitachi» (Япония) в стандартном режиме анализа белковых гидролизатов с сульфированным сополимером стирола с дивинилбензолом и ступенчатым градиентом натрий-цитратного буферного раствора с возрастающим значением pH и молярности. В процессе пробоподготовки при кислотном гидролизе образцов триптофан разрушался и не учитывался в расчете. Аминокис-

лотный скор образцов рассчитывали с учетом шкалы эталонного белка ФАО/ВОЗ 2013 г. [18]. Перевариваемость белков *in vitro* определяли по методу А.А. Покровского и И.Д. Ертанова [19], используя модель пищеварения в желудочно-кишечном тракте человека с пепсином (АО «ЛенРеактив») в кислой среде (pH $1,8 \pm 0,1$) и трипсином (ООО «Самсон-Мед») – в щелочной (pH $8,2 \pm 0,1$), общая продолжительность процесса 360 мин. Исследования выполнены в трехкратной повторности. Математическую обработку данных проводили с использованием Microsoft Excel, при расчетах определяли среднее арифметическое и стандартное отклонение для $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

После ферментации гороховой белковой муки лактобактериями в течение 24 и 48 часов изменился её химический состав (табл. 1). Массовая доля белка и жира на сухие вещества (СВ) в образцах ферментированной белковой муки снизилась, относительно контроля, на 6,9–9,5 % и 42,2–57,8 % соответственно (табл. 1). При этом зафиксировано увеличение зольности в модифицированных образцах на 61,1–72,5 %, что согласуется с литературными данными, объясняющими данное изменение накоплением лактата натрия при ферментации молочнокислыми бактериями щелочных экстрактов [8, 20].

Лактат натрия используется в пищевой промышленности в производстве колбас, сыров, кондитерских изделий и напитков как пищевая добавка (Е325), обладающая антиоксидантной и противомикробной активностью, улучшающая консистенцию, органолептические свойства и увеличивающая срок годности продукта. Данная пищевая добавка безопасна и разрешена к применению без ограничений в России (ТР ТС 029/2012) и странах Европейского Союза [21].

Таблица 1 – Химический состав исходной и лактоферментированной гороховой муки

Table 1 – Chemical composition of the original and lacto-fermented pea flour

Образец	Влажность, %	Массовая доля, % на СВ			
		Белок ($N \times 6,25$)	Зольность	Жир	Углеводы
Контроль	$6,42 \pm 0,03$	$47,43 \pm 0,11$	$3,34 \pm 0,01$	$0,64 \pm 0,04$	$48,59 \pm 0,25$
Модификация 24 часа	$5,89 \pm 0,05$	$44,15 \pm 0,23$	$5,76 \pm 0,04$	$0,37 \pm 0,01$	$49,72 \pm 0,28$
Модификация 48 часов	$4,33 \pm 0,06$	$42,91 \pm 0,25$	$5,38 \pm 0,03$	$0,27 \pm 0,04$	$51,44 \pm 0,32$

Лактат натрия используется и в качестве влагоудерживающего агента в производстве карбонатов и других сочных мясных деликатесов с длительным сроком хранения – этим объясняется увеличение ВСС ферментированных образцов муки на 16,3–22,2 %, относительно контроля (табл. 2). В процессе модификации муки увеличились также её ПОС и ЖСС в 2,15–2,22 и 2,87–3,43 раза соответственно, что говорит об ограниченном протеолизе белков муки под воздей-

ствием протеолитических ферментов бактерий [6, 8, 22]. За счет увеличения способности модифицированных образцов муки связывать воду снизилась растворимость их белков в воде в 3,91–4,79 раза. Снижился также показатель стабильности пены на 19,72–21,13 %. Исходя из данных по изменению ФТС муки, значимых отличий между ферментациями в течение 24 и 48 часов не выявлено.

Таблица 2 – Функционально-технологические свойства исходной и лактоферментированной гороховой муки

Table 2 – Functional and technological properties of the original and lacto-fermented pea flour

Образец	W, %	ВСС, г/г	ПОС, %	СП, %	ЖСС, г/г	ЖЭС, %	СЭ, %	Р, %
Контроль	$6,42 \pm 0,03$	$2,70 \pm 0,10$	46 ± 2	71 ± 1	$0,74 \pm 0,01$	54 ± 2	51 ± 2	$40,74 \pm 0,73$
Модификация 24 часа	$5,89 \pm 0,05$	$3,14 \pm 0,14$	102 ± 3	56 ± 1	$2,54 \pm 0,02$	52 ± 1	51 ± 1	$8,50 \pm 0,36$
Модификация 48 часов	$4,33 \pm 0,06$	$3,30 \pm 0,07$	99 ± 2	57 ± 2	$2,12 \pm 0,08$	52 ± 1	55 ± 2	$10,43 \pm 0,24$

Примечание: W – содержание влаги, ВСС – водосвязывающая способность, ПОС – пенообразующая способность, СП – стабильность пены, ЖСС – жиросвязывающая способность, ЖЭС – жироземмулирующая способность, СЭ – стабильность эмульсии, Р – растворимость белков в воде

МОДИФИКАЦИЯ БЕЛКОВ ГОРОХОВОЙ МУКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВОГО ШТАММА МОЛОЧНОКИСЛЫХ БАКТЕРИЙ

Аминокислотный анализ образцов установил наличие в белках исходной и ферментированной муки 17 аминокислот (без учета триптофана), основную

часть из которых составили глутаминовая и аспарагиновая кислоты, лейцин, лизин, аргинин, треонин, пролин, аланин и глицин (рис. 1).

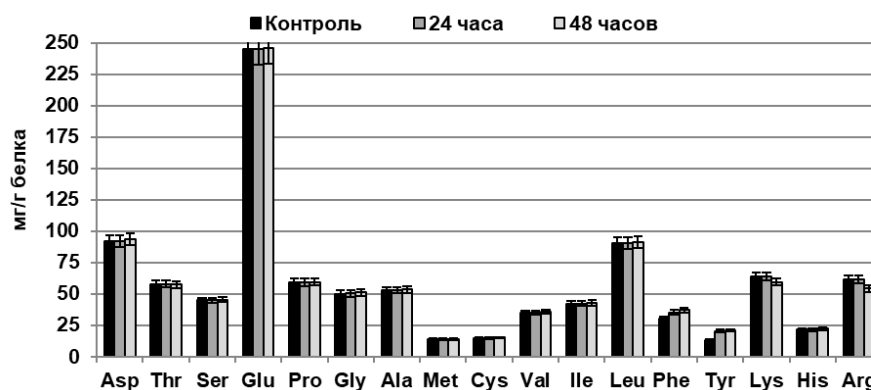


Рисунок 1 – Аминокислотный состав исходной и лактоферментированной гороховой муки

Figure 1 – Amino acid composition of the original and lacto-fermented pea flour

Ферментация в течение 24 часов практически не вызвала изменений аминокислотного состава белков муки, по сравнению с контролем, за исключением увеличения ароматических аминокислот: фенилаланина (+16,7 %) и тирозина (+53,0 %). С повышением продолжительности ферментации новым штаммом молочнокислых бактерий до 48 часов увеличилось содержание в белке фенилаланина (+22,3 %) и тирозина (+56,8 %), незначительно – аспарагиновой, глю-

таминовой кислот, серина, глицина, аланина, метионина, цистеина, валина, изолейцина, лейцина и гистидина. При этом снизилось содержание лизина (-6,5 %) и аргинина (-11,7 %).

Значения аминокислотного сора, рассчитанные по шкале «эталонного белка» ФАО/ВОЗ 2013 г., в образцах исходной и модифицированной муки были выше 100 %, за исключением валина (табл. 3).

Таблица 3 – Аминокислотный скор исходной и лактоферментированной гороховой муки, % от значений «эталонного белка» ФАО/ВОЗ

Table 3 – Amino acid score of original and lacto-fermented pea flour, % of the FAO/WHO “reference protein” values

Образец	Val	His	Ile	Leu	Lys	Met+Cys	Trh	Phe+Tyr
Контроль	88	133	140	148	132	125	231	106
Модификация 24 часа	88	133	140	148	132	125	231	136
Модификация 48 часов	89	139	142	150	124	126	230	141

Ферментация лактобактериями в течение 24 часов способствовала увеличению сора фенилаланина и тирозина, а 48-ми часовая модификация повысила скор всех незаменимых аминокислот, за исключением лизина и треонина, значения которых, по сравнению с контролем, снизились.

Исследование фракционного состава белков исходной и модифицированной гороховой муки выявил

снижение содержания труднорастворимой (растворимой в растворах щелочи при pH 12,5) фракции на 36,87–38,35 % в ферментированных лактобактериями образцах (рис. 2). При этом после ферментации в белках увеличилось содержание кислоторастворимой фракции на 28,57–96,55 %, спирторастворимой – в 12,2–15,8 раза, солерастворимой – в 8,09–18,00 раз.

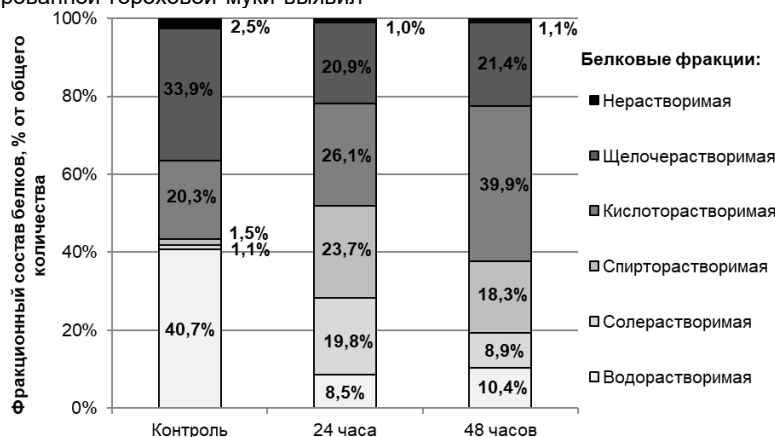


Рисунок 2 – Фракционный состав белков исходной и лактоферментированной гороховой муки

Figure 2 – Fractional composition of proteins in the original and lacto-fermented pea flour

Отмечено, что с увеличением продолжительности ферментации с 24 до 48 часов возрастает содержание фракции, растворимой в растворах кислоты, и снижается содержание соле- и спирторастворимой фракций, что может замедлить усвоение белков в организме.

Полученные модифицированные образцы муки исследованы на перевариваемость *in vitro*, в сравнении с исходной мукой (табл. 4). Белки ферментированных образцов гидролизировались интенсивнее, чем в контрольной муке, как с пепсином в кислой среде (+ 5,97–9,15 %), так и с трипсином – в щелочной (+ 18,24–37,69 %).

Таблица 4 – Перевариваемость и биологическая ценность белков исходной и лактоферментированной гороховой муки

Table 4 – Digestibility and biological value of proteins of original and lacto-fermented pea flour

Образец	Перевариваемость белков, % от общего количества			Биологическая ценность белков, %
	Пепсин	Трипсин	Итого	
Контроль	68,22±0,10	14,91±0,04	83,13±0,14	73,15
Модификация 24 часа	72,29±0,07	20,53±0,04	92,82±0,11	81,68
Модификация 48 часов	74,46±0,06	17,63±0,07	92,09±0,13	81,96

Итоговые значения перевариваемости в течение 6 часов увеличились на 10,78–11,66 % у ферментированных образцов. При этом перевариваемость белка практически не изменилась после 48 часов ферментации, в сравнении с односточной модификацией. С поправкой на увеличенную усвояемость, биологическая ценность ферментированных белков по лимитирующей незаменимой аминокислоте (валин) увеличилась на 11,66–12,04 %.

Внешний вид исходной и лактоферментированных образцов муки представлен на рисунке 3. Ферментированные образцы имели темно-кремовый цвет за счет термической обработки экстрактов муки во время подготовки питательной среды перед посевом лактобактерий. Однако модифицированная мука обладала кисломолочным вкусом и запахом со слабым гороховым оттенком, в сравнении с характерным бобовым вкусом и запахом контрольного образца.



Контроль



Модификация 24 часа



Модификация 48 часов

Рисунок 3 – Внешний вид исходной и лактоферментированной гороховой муки

Figure 3 – Appearance of original and lacto-fermented pea flour

ВЫВОДЫ

Модификация белковой муки новым штаммом лактобактерий *Lacticaseibacillus rhamnosus* KM-1 в течение 24 и 48 часов позволила улучшить аминокислотный состав и усвояемость гороховых белков. После модификации в образцах ферментированной муки установлены увеличенные показатели зольности (5,38–5,76 % на СВ), ВСС (3,14–3,30 г/г), ЖСС (2,12–2,54 г/г), ПОС (99–102 %), фенилаланина (35,22–36,92 мг/г белка), тирозина (20,39–20,90 мг/г белка), кислоторастворимой (26,10–39,90 %), спирторастворимой (18,30–23,70 %), солерастворимой (8,90–19,80 %) фракций белков, усвояемости белков *in vitro* (92,09–92,82 %) и биологической ценности белка (81,68–81,96 %). В ферментированной в течение 48 часов гороховой муке, по сравнению с односточной модификацией, сократилось содержание лизина, аргинина, соле- и спирторастворимых фракций белков, а также практически не изменились показатели ФТС, усвояемости и биологической ценности белков, что говорит о нецелесообразности увеличения продолжительности ферментации лактобактериями более одних суток. Образцы ферментированной муки

имели вкус и запах, свойственный молочнокислым бактериям со слабым привкусом гороха, и темно-кремовый цвет, образовавшийся в результате термической обработки горохового экстракта в процессе приготовления питательной среды перед посевом лактобактерий. С учетом высокого количества биологически ценного белка, увеличенных показателей связывать воду и жир и образовывать пену, образцы ферментированной белковой гороховой муки, полученные с использованием нового штамма молочнокислых бактерий *Lacticaseibacillus rhamnosus* KM-1, целесообразно рекомендовать для применения в качестве белковой добавки в технологиях изготовления спортивного питания, колбасных и кондитерских изделий и продуктов типа «растительное мясо».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыбакова Д.Э. Горох. Посевные площади, валовые сборы и урожайность в 2023 году // Экспертно-аналитический центр агробизнеса «АБ-Центр». URL: <https://ab-centre.ru/news/goroh-posevnye-ploschadi-valovye-sbory-i-urozhaynost-v-2023-godu?ysclid=m10oyy92kr454619867> (дата обращения: 15.10.2024).

МОДИФИКАЦИЯ БЕЛКОВ ГОРОХОВОЙ МУКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВОГО ШТАММА МОЛОЧНОКИСЛЫХ БАКТЕРИЙ

2. Питательная ценность сортов сои, гороха, фасоли и содержание в них антипитательных веществ / В.И. Возиян, М.Г. Таран, М.Д. Якобуга, Л.П. Авадэний // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2013. Т. 1(5). С. 26–29.
3. Webber J. How Many CO₂ Emissions Does The Meat Industry Actually Produce? // *Plant Based News*. URL: <https://plantbasednews.org/opinion/the-long-read/emissions-meat-industry/> (дата обращения: 15.10.2024).
4. Куликов Д.С., Арюзина М.А. Биокаталический и биосинтетический способы получения белковых концентратов из гороха и нута // *Пищевые системы*. 2021. Т. 4. № 3S. С. 160–167. DOI: 10.21323/2618-9771-2021-4-3S-160-167.
5. Куликов Д.С., Аксёнова Л.М., Самойлова А.М. Функционально-технологические свойства белковых продуктов из зернобобовых культур и их модификация под влиянием различных факторов. Часть 1 // *Пищевая промышленность*. 2024. № 3. С. 20–25. DOI: 10.52653/PPI.2024.3.3.004.
6. The Effect of Various Domestically Produced Proteolytic Enzyme Preparations on the Organoleptic Properties of Pea Protein Isolates / I.V. Kravchenko [et al.] // *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2024. V. 60. № 4. P. 656–662. DOI: 10.1134/S0003683824604335.
7. Куликов Д.С., Королев А.А. Функционально-технологические свойства белковых продуктов из зернобобовых культур и их модификация под влиянием различных факторов. Часть 2 // *Пищевая промышленность*. 2024. № 8. С. 35–44. DOI: 10.52653/PPI.2024.8.8.007.
8. Enzymatic modification of plant proteins for improved functional and bioactive properties / O.O. Olatunde [et al.] // *Food and Bioprocess Technology*. 2023. V. 16. P. 1216–1234. DOI: 10.1007/s11947-022-02971-5.
9. Physicochemical property changes and aroma differences of fermented yellow pea flours: role of *Lactobacilli* and fermentation time / C. Li [et al.] // *Food & Function*. 2021. V. 12. № 15. P. 6950–6963. DOI: 10.1039/d1fo00608h.
10. Sensory improvement of a pea protein-based product using microbial co-cultures of lactic acid bacteria and yeasts / C.El. Youssef [et al.] // *Foods*. 2020. V. 9. № 3. P. 349. DOI: 10.3390/foods9030349.
11. Аппянцева Ю.В., Борисова И.И., Бараненко Д.А. Обзор технологий выделения белка из нута // *Ползуновский вестник*. 2024. № 2. С. 27–36. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.004.
12. Sensory profile, functional properties and molecular weight distribution of fermented pea protein isolate / V. García Arteaga [et al.] // *Current research in food science*. 2020. V. 4. P. 1–10. DOI: 10.1016/j.crfs.2020.12.001.
13. Physicochemical properties and volatile components of pea flour fermented by *Lactobacillus rhamnosus* L08 / M. Pei [et al.] // *Food Bioscience*. 2022. V. 46. P. 101590. DOI: 10.1016/j.fbio.2022.101590.
14. Синельников А.В., Уланова Р.В., Канапацкий Т.А. Разработка технологии получения лактоферментированных продуктов на основе растительного материала // *Пищевая промышленность*. 2024. № 8. С. 75–80. DOI: 10.52653/PPI.2024.8.8.014.
15. Куликов Д.С. Комплексная биотехнологическая переработка гороховой муки с получением белковых концентратов // *Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук*. 2023. 158 с.
16. Колпакова В.В., Нечаев А.П. Белок из пшеничных отрубей. Функциональные свойства белковой муки: растворимость и водосвязывающая способность // *Известия ВУЗов. Пищевая технология*. 1995. Т. 1–2. С. 31–33.
17. Колпакова В.В., Нечаев А.П. Белок из пшеничных отрубей. Функциональные свойства белковой муки: эмульгирующие и пенообразующие свойства // *Известия ВУЗов. Пищевая технология*. 1995. Т. 1–2. С. 34–37.
18. FAO Dietary protein quality evaluation in human nutrition: Report of an FAO Expert Consultation 31 March–2 April, 2011, Auckland, New Zealand // *Food and agriculture organization of the united nations*. Rome. 2013. ISSN 0254-4725.
19. Покровский А.А., Ертанов И.Д. Атакуемость белков пищевых продуктов // *Вопросы питания*. 1965. № 3. С. 38–44.
20. Roberts E.O., Otunola E.T., Iwakun B.T. An evaluation of some quality parameters of a laboratory-prepared fermented groundnut milk // *European Food Research and Technology*. 2004. V. 218. P. 452–455.
21. Зачем в продукты добавляют E325: лактат натрия // *Материалы испытательной лаборатории «VestabLab»*. URL: <https://testslab.ru/stati/zachem-v-produkty-dobavlyayut-e325-laktat-natriya/> (дата обращения: 15.10.2024).
22. Effect of Different Classes of Proteases on the Techno-Functional Properties of Pea Protein Isolates / I.V. Kravchenko [et al.] // *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2024. V. 60. P. 106–117. DOI: 10.1134/S0003683824010083.

Информация об авторах

Д. С. Куликов – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.

Р. В. Уланова – кандидат биологических наук, научный сотрудник, Институт микробиологии имени С.Н. Виноградского Федерального исследовательского центра «Фундаментальные основы биотехнологии» Российской академии наук.

А. А. Королев – кандидат технических наук, заведующий лабораторией, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.

А. В. Синельников – аспирант, Институт микробиологии имени С.Н. Виноградского Федерального исследовательского центра «Фундаментальные основы биотехнологии» Российской академии наук.

З. И. Калугина – младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.

REFERENCES

1. Rybakova, D.E. [Peas. Sown areas, gross harvests and yields in 2023]. *Ekspertno-analiticheskiy tsentr agrobiznesa «AB-Tsentr»*. URL: <https://ab-centre.ru/news/gorohoposevnye-ploschadi-valovye-sbory-i-urozhaynost-v-2023-godu?ysclid=m10oyy92kr454619867> (data obrashcheniya: 15.10.2024) (In Russ.).
2. Vozyan, V.I., Taran, M.G., Yakobutsa, M.D., Avadeniy, L.P. [Nutritional value of soybean, pea, and bean varieties and their content of antinutrients]. *Zernobobovyye i krupyanyye kul'tury*. 2013;1(5):26-29. (In Russ.).
3. Webber, J. How Many CO₂ Emissions Does The Meat Industry Actually Produce? *Plant Based News*. URL: <https://plantbasednews.org/opinion/the-long-read/emissions-meat-industry/> (data obrashcheniya: 15.10.2024)
4. Kulikov, D.S., Aryuzina, M.A. [Biocatalytic and biosynthetic methods for producing protein concentrates from peas and chickpeas]. *Pishchevyye sistemy*. 2021;4(3S):160-167. DOI: 10.21323/2618-9771-2021-4-3S-160-167. (In Russ.).
5. Kulikov, D.S., Aksenova, L.M., Samoylova, A.M. [Functional and technological properties of protein products from leguminous crops and their modification under the influence of various factors. Part 1]. *Pishchevaya promyshlennost'*. 2024;3:20-25. DOI: 10.52653/PPI.2024.3.3.004. (In Russ.).
6. Kravchenko, I.V. [et al.]. The Effect of Various Domestically Produced Proteolytic Enzyme Preparations on the

Organoleptic Properties of Pea Protein Isolates. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2024;60(4):656-662. DOI: 10.1134/S0003683824604335.

7. Kulikov, D.S., Korolev, A.A. [Functional and technological properties of protein products from leguminous crops and their modification under the influence of various factors. Part 2]. *Pishchevaya promyshlennost'*. 2024;8:35-44. DOI: 10.52653/PPI.2024.8.8.007. (In Russ.).

8. Olatunde, O.O. [et al.]. Enzymatic modification of plant proteins for improved functional and bioactive properties. *Food and Bioprocess Technology*. 2023;16:1216-1234. DOI: 10.1007/s11947-022-02971-5.

9. Li, C. [et al.]. Physicochemical property changes and aroma differences of fermented yellow pea flours: role of *Lactobacilli* and fermentation time. *Food & Function*. 2021;12(15):6950-6963. DOI: 10.1039/d1fo00608h.

10. El Youssef, C. [et al.]. Sensory improvement of a pea protein-based product using microbial co-cultures of lactic acid bacteria and yeasts. *Foods*. 2020;9(3):349. DOI: 10.3390/foods9030349.

11. Apyanceva, Yu.V., Borisova, I.I., Baranenko, D.A. [Review of technologies for protein extraction from chick-peas]. *Polzunovsky Vestnik*. 2024;2:27-36. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.004. (In Russ.).

12. García Arteaga, V. [et al.]. Sensory profile, functional properties and molecular weight distribution of fermented pea protein isolate. *Current research in food science*. 2020;4:1-10. DOI: 10.1016/j.crfs.2020.12.001.

13. Pei, M. [et al.]. Physicochemical properties and volatile components of pea flour fermented by *Lactobacillus rhamnosus* L08. *Food Bioscience*. 2022;46:101590. DOI: 10.1016/j.fbio.2022.101590.

14. Sinelnikov, A.V., Ulanova, R.V., Kanapatchiy, T.A. [Development of technology for obtaining lacto-fermented products based on plant material]. *Pishchevaya promyshlennost'*. 2024;8:75-80. DOI: 10.52653/PPI.2024.8.8.014. (In Russ.).

15. Kulikov, D.S. [Complex biotechnological processing of pea flour to obtain protein concentrates]. *Dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk*. 2023. 158. (In Russ.).

16. Kolpakova, V.V., Nechaev, A.P. [Protein from wheat bran. Functional properties of protein flour: solubility and water-binding capacity]. *Izvestiya VUZov. Pishchevaya tekhnologiya*. 1995;1-2:31-33. (In Russ.).

17. Kolpakova, V.V., Nechaev, A.P. Wheat bran protein. Functional properties of protein flour: emulsifying and

foaming properties. *Izvestiya VUZov. Pishchevaya tekhnologiya*. 1995;1-2:34-37. (In Russ.).

18. FAO Dietary protein quality evaluation in human nutrition: Report of an FAO Expert Consultation 31 March-2 April, 2011, Auckland, New Zealand. Food and agriculture organization of the united nations. Rome. 2013. ISSN 0254-4725.

19. Pokrovskiy, A.A., Yertanov, I.D. [Attackability of food proteins]. *Voprosy pitaniya*. 1965;3:38-44. (In Russ.).

20. Roberts, E.O., Otunola, E.T., Iwakun, B.T. An evaluation of some quality parameters of a laboratory-prepared fermented groundnut milk. *European Food Research and Technology*. 2004;218:452-455.

21. [Why is E325 added to food products: sodium lactate]. *Materialy ispyatel'noy laboratorii «VestaLab»*. URL: <https://testslab.ru/stati/zachem-v-produkty-dobavlyayut-e325-laktat-natriya/> (data obrashcheniya: 15.10.2024). (In Russ.).

22. Kravchenko, I.V. [et al.]. Effect of Different Classes of Proteases on the Techno-Functional Properties of Pea Protein Isolates. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2024;60:106-117. DOI: 10.1134/S0003683824010083.

Information about the authors

D.S. Kulikov - Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Russian Research Institute of Canning Technology - branch of Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of the RAS, +79037098123.

R.V. Ulanova - Candidate of Biological Sciences, Scientific Researcher, Vinogradsky Institute of Microbiology, Federal Research Center of Biotechnology of the RAS, +79154607039.

A.A. Korolev - Candidate of Technical Sciences, Head of Laboratory, Russian Research Institute of Canning Technology - branch of Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of the RAS, +79261131908.

A.V. Sinelnikov - graduate student, Vinogradsky Institute of Microbiology, Federal Research Center of Biotechnology of the RAS.

Z.I. Kalugina - Junior Researcher, Russian Research Institute of Canning Technology - branch of Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of the RAS, +79260315067.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 28 ноября 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 28 Nov 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК634.11

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.013



ВЛИЯНИЕ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ПЛОДОВ ЯБЛОНИ РАСТВОРОМ ХЛОРИСТОГО КАЛЬЦИЯ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ ХРАНЕНИИ

Анна Яковлевна Долженко

Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, Барнаул, Россия
anna-krysova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7816-9605>

Аннотация. В последние десятилетия значительное внимание уделяется способам увеличения срока хранения плодов, улучшения их товарных и органолептических качеств. Одним из таких методов является обработка плодов растворами хлористого кальция, которая способствует сохранению этого элемента в яблоках, предотвращению заболеваний и улучшению основного химического состава. Целью данного исследования является оценка влияния послеуборочной обработки плодов яблони раствором хлористого кальция на качественные характеристики при хранении в холодильной камере. В соответствии с целью поставлена следующая задача – оценить воздействие обработки раствором хлористого кальция на физико-химический состав, органолептические качества и сохранность плодов после хранения. Исследования проводились в 2023–2024 гг. в лаборатории промышленных технологий ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий» отдела «Научно-исследовательский институт садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко». Плоды яблони осеннего срока созревания сортов Алтайское зимнее, Чупинское и Юбилейное Калининой собирали на участках сортоизучения и хранили при температуре 2 ± 1 °C в обычной атмосфере в течение 120 дней. При съеме плодов с хранения проводилось взвешивание, оценка на наличие признаков товарного брака, дегаустация и физико-химический анализ. Выявлено, что послеуборочная обработка плодов яблони методом погружения в раствор хлористого кальция повышает их твердость, снижает естественную убыль массы. В ходе исследования биохимического состава плодов установлено, что применение обработки хлористым кальцием способствует сохранению органических кислот и замедляет процессы активного дозревания, сопровождающиеся увеличением растворимых сухих веществ и сахаров у некоторых сортов. У сортов Чупинское и Юбилейное Калининой обработка хлористым кальцием способствовала сохранению органических кислот, снизила содержание растворимых сухих веществ, сахаров, сахарокислотного индекса. У сорта Алтайское зимнее после 120 дней хранения содержание растворимых сухих веществ и сахаров увеличилось, а органических кислот уменьшилось. При дегаустации отмечен гармоничный вкус плодов, обработанных 4 % раствором хлористого кальция. Основываясь на полученных данных, можно сделать предварительный вывод, что для обработки плодов изучаемых сортов яблони наиболее подходящим является 4 % раствор хлористого кальция.

Ключевые слова: яблоки, плоды, хранение, обработка хлористым кальцием, твердость плодов, убыль массы, органолептические качества, биохимический состав.

Для цитирования: Долженко А. Я. Влияние послеуборочной обработки плодов яблони раствором хлористого кальция на качественные характеристики при хранении // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 79–84. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.013. EDN: <https://elibrary.ru/FEQJJA>.

Original article

IMPACT OF CALCIUM CHLORIDE SOLUTION APPLICATION DURING POST-HARVEST TREATMENT OF APPLE FRUITS ON MAINTENANCE OF QUALITY DURING STORAGE

Anna Ya. Dolzhenko

Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnologies, Barnaul, Russia
anna-krysova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7816-9605>

Abstract. In recent decades, considerable attention has been paid to methods of increasing the shelf life of fruits, improving their commercial and organoleptic qualities. A notable approach involves the application of calcium chloride solutions, which have been shown to assist in the preservation of calcium content within fruits, to mitigate disease, and to enhance their fundamental chemical composition. The objective of this study is to evaluate the impact of post-harvest treatment of apple fruits with a calcium chloride solution on their quality characteristics during storage in a refrigerator. In accordance with the stated objective, the following task was formulated: to evaluate the effect of treatment with a solu-

© Долженко А. Я., 2025

tion of calcium chloride on the physico-chemical composition, organoleptic qualities and preservation of fruits after storage. The research was conducted in 2023–2024 in the laboratory of industrial technologies of the FSBSI «Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnology». The fruits of the apple tree of the autumn ripening period of the Altayskoye zimneye, Chupinskoye and Yubileynoye Kalininoy varieties were harvested at the variety study sites and stored at a temperature of 2 ± 1 °C in a normal atmosphere for 120 days. Upon retrieval of the fruits from storage, a meticulous process was initiated. This entailed a rigorous weighing procedure, followed by a comprehensive evaluation to ascertain the presence of any defective goods. A subsequent tasting test was conducted, along with a thorough physico-chemical analysis. The findings revealed that the post-harvest treatment of apple fruits by immersion in a calcium chloride solution increased their hardness and reduced the natural weight loss. Furthermore, biochemical analysis revealed that calcium chloride treatment contributes to the preservation of organic acids and slows down the processes of active ripening, accompanied by an increase in soluble solids and sugars in certain varieties. In particular, the varieties Chupinskoye and Yubileynoye Kalininoy demonstrated a notable preservation of organic acids following treatment with calcium chloride, accompanied by a reduction in soluble solids, sugars, and the sugar-acid index. Following a 120-day storage period, the Altayskoye zimneye variety exhibited an increase in soluble solids and sugars, accompanied by a decrease in organic acids. During the sensory evaluation, it was observed that the fruits treated with a 4 % calcium chloride solution exhibited a harmonious taste profile. The findings of this study indicate that a 4 % calcium chloride solution is the most effective for processing the fruits of the studied apple varieties.

Keywords: apples, fruits, storage, treatment with calcium chloride, fruit hardness, weight loss, organoleptic qualities, biochemical composition.

For citation: Dolzhenko, A.Ya. (2025). Impact of calcium chloride solution application during post-harvest treatment of apple fruits on the maintenance of quality during storage. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 79–84. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.013. EDN: <https://elibrary.ru/FEQJJA>.

ВВЕДЕНИЕ

Плоды яблони пользуются значительным спросом среди населения и отличаются хорошими потребительскими, вкусовыми и диетическими свойствами. Одной из приоритетных задач РФ стоит обеспечение населения свежими плодами с высокими потребительскими свойствами на протяжении длительного периода. Однако на местном рынке представлены либо сезонные яблоки, доступные в летний и осенний периоды, либо импортные сорта. Необходимо искать способы решения проблемы хранения яблок местного сорта. Поскольку в сибирском районированном сорimente отсутствуют сорта яблони зимнего срока созревания, то с точки зрения обеспечения населения свежими плодами в зимний период особую значимость приобретают осенние сорта, плоды которых пригодны для длительного хранения [1]. Однако их потенциал в этом отношении пока изучен не полностью. В связи с этим необходимо изучать, разрабатывать и совершенствовать эффективные методы для их длительного хранения. Основные причины снижения качества плодов и увеличения потерь при хранении – поражение их физиологическими и микробиологическими заболеваниями. Для снижения потерь при хранении в практике интенсивного садоводства до и после уборки урожая применяют ряд препаратов естественного и химического происхождения, а также некорневые подкормки растений макро- и микроэлементами – для повышения устойчивости плодов к физиологическим заболеваниям. Одним из основных элементов питания, влияющим на качество и сохранность плодов, является кальций [2, 3].

Повысить содержание кальция в плодах яблони и, как следствие, их устойчивость к основным заболеваниям, связанным с хранением, можно путем послеуборочной обработки плодов раствором хлорида кальция, предназначенного для пищевых целей [4–6]. Анализ опыта отечественных и зарубежных ученых [7–12] показал, что повышение содержания кальция в плодах может быть достигнуто при погружении контейнеров с плодами в водный раствор хлористого кальция, т.е. при непосредственном нанесении его на плоды [13]. Кальций, нанесенный на кожицу плодов, поступает в плоды в течение ещё двух недель хране-

ния [14]. Увеличение содержания кальция в плодах позволяет снизить развитие физиологических и микробиологических заболеваний, скорость их размягчения, замедляет или препятствует гниению при хранении, что позволяет увеличить выход товарной продукции после длительного хранения [15]. Кальций обеспечивает твёрдость и прочность плодов, снижает растрескиваемость и увеличивает их сочность. Он оказывает влияние на интенсивность образования этилена, регулирует дыхание и замедляет процессы старения плодов [16].

Целью данного исследования является оценка влияния послеуборочной обработки плодов яблони раствором хлористого кальция на их качественные характеристики при хранении в холодильной камере. В соответствии с целью поставлена следующая задача – оценить воздействие обработки раствором хлористого кальция на физико-химический состав, органолептические качества и сохранность плодов после 120 дней хранения.

МЕТОДЫ

Исследования проводились в 2023–2024 гг. в лаборатории промышленных технологий ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий» отдела «Научно-исследовательский институт садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко». Объектами исследований являлись плоды сортов яблони осеннего срока созревания Алтайское зимнее, Чупинское и Юбилейное Калининой. Плоды собирали на участках сортоизучения в период съёмной зрелости (третья декада августа).

Обработку раствором хлористого кальция в концентрациях 2 и 4 % проводили методом полного погружения опытных плодов в течение 2 минут. Количество плодов, закладываемых на хранение – 90 шт. для каждого сорта: из расчета 60 плодов для обработки раствором хлористого кальция и 30 контрольных плодов (без обработки). Плоды закладывали на хранение в ящики (в один слой) в холодильную камеру при температуре 2 ± 1 °C, в условиях обычной атмосферы и относительной влажности воздуха 80–85 %.

При съеме плодов с хранения через 120 дней проводилось взвешивание, оценка на наличие признаков товарного брака, дегустация и физико-химический

ВЛИЯНИЕ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ПЛОДОВ ЯБЛОНИ РАСТВОРОМ ХЛОРИСТОГО КАЛЬЦИЯ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ ХРАНЕНИИ

анализ [17]. Определение концентрации растворимых сухих веществ (PCB) с помощью рефрактометра RL-3 (ГОСТ 28562-90); содержание сухого вещества высушиванием пробы в лабораторном сушильном шкафу BINDER (ГОСТ 33977-2016); содержание сахаров – методом прямого титрования из водной вытяжки (ГОСТ 13192-73); определение общей кислотности – титрованием децинормальной щелочью с последующим пересчетом на яблочную кислоту; сахарокислотный индекс (СКИ) – отношение сахар/кислота. Твёрдость мякоти – с помощью пенетromетра SOONDA Fruit Hardness Tester GY-3. Изучение особенности хранения проводилось согласно методике, предложенной в «Программе и методике сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур» [18].

В обсуждении представлены средние значения показателей за два года исследований. Результаты обработаны методом математической статистики с использованием пакета прикладных программ Microsoft Office Excel по общепринятым формулам. Оценка коэффициента вариации (V) признака производилась по шкале Зайцева [19]: 0–10 % – небольшой; 11–20 % – средний; V>20 % – большой.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В процессе исследования выявлено, что обработка плодов раствором хлористого кальция повысила твёрдость плодов, снизила естественную убыль массы. При обработке плодов 4 % раствором хлористого кальция увеличилась твёрдость яблок у сортов Чупинское на 27 %, Юбилейное Калининой на 21 %, для сорта Алтайское зимнее увеличение этого показателя было незначительным и составило 7 % (рисунок 1).

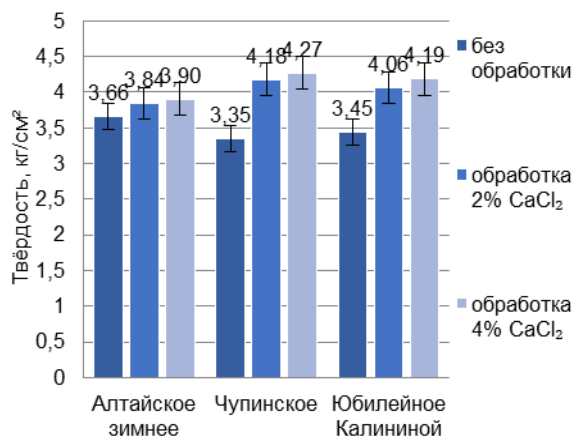


Рисунок 1 – Зависимость твёрдости плодов от обработки раствором хлористого кальция у сортов яблони после хранения в холодильной камере

Figure 1 – Dependence of fruit hardness on treatment with a calcium chloride solution in apple varieties after storage in the refrigerator

При той же концентрации удалось снизить естественную убыль массы плодов в среднем по сортам на 30 %.

Обработанные яблоки сорта Юбилейное Калининой показали положительный результат, в отличие от контроля и при концентрации 2 % раствора хлористого кальция (рисунок 2). Также у обработанных плодов этого сорта повысился выход товарных плодов с 71,7±15,2 до 90,0±5,2 %. Это произошло благодаря

снижению количества плодов, подвергшихся увяданию, характерному для данного сорта.

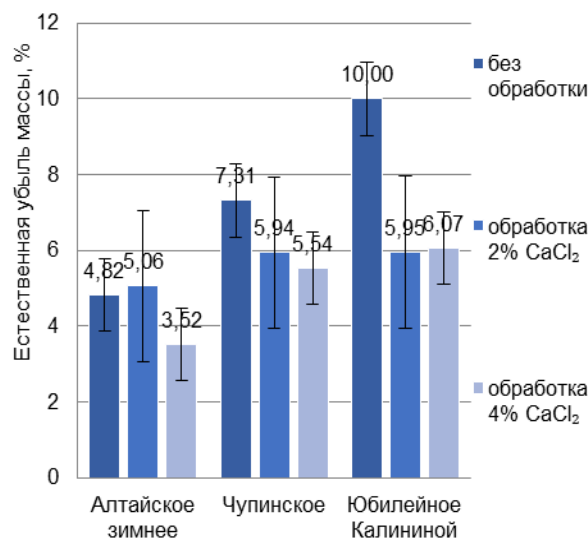


Рисунок 2 – Зависимость естественной убыли массы плодов от обработки раствором хлористого кальция у сортов яблони после хранения в холодильной камере

Figure 2 – Dependence of natural fruit weight loss on treatment with a calcium chloride solution in apple varieties after storage in the refrigerator

Обработка плодов 2 % раствором хлористого кальция не дала результата для остальных сортов, так, у сорта Алтайское зимнее произошло несущественное увеличение естественной убыли массы по сравнению с контролем. По сравнению с контрольными образцами выход товарных плодов сортов Алтайское зимнее и Чупинское снизился в среднем на 5 % (до 95,0±2,2 и 88,3±3,1 % соответственно), что связано с повреждением блюдца из-за скопившейся влаги.

В ходе дегустационной оценки определено достоверное воздействие обработки плодов хлористым кальцием на сорт Чупинское. Обработка способствовала замедлению созревания плодов и сохранению их сочности в отличие от необработанных плодов. Для других сортов варьирование показателей между контролем и обработанными образцами отмечено на низком уровне, значимых различий не обнаружено. Однако дегустаторы отметили у обработанных плодов более насыщенный вкус, сочную мякоть и хрусткость (таблица 1).

В процессе изучения биохимического состава плодов обнаружены различия между образцами, подвергнутыми обработке хлористым кальцием, и теми, которые не подвергались обработке.

Плоды сорта Чупинское имели существенные отличия по содержанию растворимых сухих веществ ($HC_{P05}=0,34$). Благодаря сохранению содержания сахаров и органических кислот на уровне, близком к плодам перед закладкой на хранение, значение сахарокислотного индекса при обработке 4 % раствором хлористого кальция составило 24,58 ед., что свидетельствует о более гармоничном вкусе плодов [20] по сравнению с контрольным вариантом, сахарокислотный индекс которых составил 33,27 ед.

Таблица 1 – Зависимость органолептических показателей от обработки раствором хлористого кальция плодов яблони после хранения

Table 1 – Dependence of organoleptic parameters on the treatment of apple fruits with a calcium chloride solution after storage

Вариант обработки	Дегустационная оценка, балл				
	Зрелость	Внешний вид	Состояние мякоти	Ароматичность	Вкус
Алтайское зимнее					
Без обработки	3,17±0,12	4,91±0,04	3,00±0,00	3,92±0,06	4,58±0,09
Обработка 2 % CaCl ₂	3,28±0,11	4,92±0,04	2,94±0,06	3,89±0,08	4,58±0,09
Обработка 4 % CaCl ₂	3,11±0,06	4,89±0,05	3,00±0,00	3,94±0,06	4,70±0,07
$\bar{X} \pm m$	3,19±0,05	4,91±0,01	3,00±0,02	3,92±0,01	4,62±0,04
V, %	2,71	0,31	1,16	0,64	1,50
HCP ₀₅	Fф<F ₀₅	Fф<F ₀₅	Fф<F ₀₅	Fф<F ₀₅	Fф<F ₀₅
Чупинское					
Без обработки	2,04±0,17	4,95±0,03	1,89±0,18	3,61±0,19	4,32±0,08
Обработка 2 % CaCl ₂	2,59±0,13	4,93±0,04	2,64±0,12	3,46±0,20	4,39±0,11
Обработка 4 % CaCl ₂	2,65±0,12	4,93±0,04	2,60±0,14	3,50±0,20	4,50±0,10
$\bar{X} \pm m$	2,43±0,19	4,94±0,01	2,38±0,24	3,52±0,04	4,40±0,05
V, %	13,85	0,23	17,75	2,20	2,06
HCP ₀₅	0,43	Fф<F ₀₅	0,44	Fф<F ₀₅	Fф<F ₀₅
Юбилейное Калининой					
Без обработки	2,59±0,17	4,96±0,02	2,31±0,20	3,25±0,22	4,39±0,07
Обработка 2 % CaCl ₂	2,51±0,18	4,91±0,04	2,54±0,17	3,35±0,20	4,46±0,07
Обработка 4 % CaCl ₂	2,78±0,14	4,91±0,05	2,74±0,09	3,44±0,13	4,44±0,07
$\bar{X} \pm m$	2,63±0,08	4,93±0,02	2,53±0,12	3,35±0,05	4,43±0,02
V, %	5,28	0,59	8,50	2,84	0,81
HCP ₀₅	Fф<F ₀₅	Fф<F ₀₅	Fф<F ₀₅	Fф<F ₀₅	Fф<F ₀₅

Для сорта Юбилейное Калининой у обработанных плодов также сохранялось меньшее количество сахаров, сухих веществ, растворимых сухих веществ, СКИ и большего количества органических кислот. Ряд авторов отмечают [2, 3, 16], что кальций, взаимодействуя с ферментами клетки, снижает дыхание и тем самым замедляет обмен веществ плода, что может уменьшить расход питательных веществ на дыхание во время хранения и замедлить процессы старения.

У сорта Алтайское зимнее при обработке различными концентрациями хлористого кальция после 120 дней хранения наблюдалось дозревание плодов, сопровождающееся увеличением содержания растворимых сухих веществ, сахаров, сахарокислотного индекса и более интенсивным расходом органических кислот (таблица 2).

Таблица 2 – Зависимость биохимического состава от обработки раствором хлористого кальция плодов яблони после хранения

Table 2 – Dependence of the biochemical composition on the treatment of apple fruits with a calcium chloride solution after storage

Вариант обработки	Сухие вещества, %	Растворимые сухие вещества, %	Титруемая кислотность, %	Сахара, %	Сахарокислотный индекс, ед.
Алтайское зимнее					
Без обработки	13,43±0,53	13,32±0,20	0,83±0,05	10,92±0,15	13,46±0,79
Обработка 2 % CaCl ₂	13,26±0,81	14,06±0,76	0,81±0,03	11,18±0,37	13,79±0,39
Обработка 4 % CaCl ₂	13,24±0,52	13,49±0,55	0,69±0,04	11,24±0,39	16,43±0,79
$\bar{X} \pm m$	13,31±0,06	13,62±0,22	0,78±0,04	11,11±0,10	14,56±0,94
V, %	0,78	2,85	9,75	1,53	11,18
HCP ₀₅	Fф<F ₀₅	Fф<F ₀₅	0,07	Fф<F ₀₅	1,72
Чупинское					
Без обработки	12,60±0,14	11,78±0,07	0,29±0,02	9,50±0,05	33,27±1,90
Обработка 2 % CaCl ₂	12,05±0,27	11,85±0,15	0,33±0,03	9,28±0,19	29,68±2,87
Обработка 4 % CaCl ₂	12,80±0,40	11,13±0,05	0,38±0,02	9,13±0,12	24,58±1,54
$\bar{X} \pm m$	12,48±0,22	11,59±0,23	0,33±0,03	9,30±0,11	29,18±2,52
V, %	3,11	3,43	13,53	2,00	14,97
HCP ₀₅	Fф<F ₀₅	0,34	Fф<F ₀₅	Fф<F ₀₅	Fф<F ₀₅
Юбилейное Калининой					
Без обработки	13,78±0,22	13,70±0,19	0,60±0,07	10,44±0,39	18,96±2,97
Обработка 2 % CaCl ₂	13,57±0,27	13,15±0,04	0,64±0,07	10,27±0,26	17,45±2,48
Обработка 4 % CaCl ₂	12,83±0,16	13,07±1,11	0,67±0,06	9,75±0,40	15,39±1,94
$\bar{X} \pm m$	13,39±0,29	13,31±0,20	0,64±0,02	10,15±0,21	17,27±1,03
V, %	3,73	2,58	5,52	3,54	10,38
HCP ₀₅	Fф<F ₀₅	Fф<F ₀₅	Fф<F ₀₅	0,34	Fф<F ₀₅

ВЛИЯНИЕ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ПЛОДОВ ЯБЛОНИ РАСТВОРОМ ХЛОРИСТОГО КАЛЬЦИЯ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ ХРАНЕНИИ

Изучив полученные данные, можно сделать предположение, что поступление кальция в плоды зависит от сортовой особенности и концентрации обрабатываемого раствора. Различия в поступлении кальция, обусловленные физиологическим строением плодов, подтверждается другими авторами [14], которые утверждают, что важную роль в поступлении кальция играют чечевички на поверхности плода, поскольку большая его часть проникает через них, а не через кожицу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Послеуборочная обработка плодов яблони методом погружения их в раствор хлористого кальция повышает твердость плодов, снижает естественную убыль массы. В ходе исследования биохимического состава плодов установлено, что обработка хлористым кальцием способствует сохранению органических кислот и замедляет процессы активного дозревания, сопровождающиеся увеличением РСВ и сахаров у некоторых сортов. У сортов Чупинское и Юбилейное Калининой обработкой хлористым кальцием способствовала сохранению органических кислот, снизила содержание растворимых сухих веществ, сахаров, сахарокислотного индекса. У сорта Алтайское зимнее после 120 дней хранения содержание растворимых сухих веществ и сахаров увеличилось, а органических кислот уменьшилось. При дегустации отмечено гармоничный вкус плодов, обработанных 4 % раствором хлористого кальция. Основываясь на полученных данных, можно сделать предварительное заключение, что для обработки плодов изучаемых сортов яблони наиболее подходящим является 4 % раствор хлористого кальция

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Троско Е.С., Гунина Ю.С. Некоторые особенности хранения плодов яблони сортов алтайской селекции // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 29–34. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.004.
2. Боровик Е.С. Влияние макро- и микроудобрений на качество и лежкость плодов яблони // Плодоводство. 2012. Т. 24, № 1. С. 272–278.
3. Пазухин С.А., Мазец Ж.Э., Криворот А.М. Влияние физиологически активных веществ на формирование качественных характеристик плодов яблони при хранении // Вестн. БДПУ. 2013. Серия 3, № 1. С. 10–14.
4. Причко Т.Г. Регулирование качества плодов при выращивании, уборке, хранении и переработке // Садоводство и виноградарство. 2004. № 6. С. 2–4.
5. Родиков С.А. Обработка яблок теплом после съема в саду перед хранением // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2014. № 6. С. 55–56.
6. Система садоводства Республики Крым / В.И. Копылов [и др.]. Симферополь : ИТ «АРИАЛ», 2016. 288 с.
7. Вещугин С.В. Сортные особенности формирования качества плодов яблони в саду для хранения в условиях Нижнего Поволжья : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Мичуринск, 2008. 19 с.
8. Колеснов А.Ю., Зенина М.А. Современные способы обеспечения управляемого качества продукции в технологиях выращивания и хранения фруктов и овощей // Пищевая промышленность. 2015. № 5. С. 11–19.
9. Sensory and firmness measurements of calci-

um- and heat-treated apples / J.A. Abbott [et al.] // Journal of Texture Studies. 2000. Vol. 31. P. 109–121. doi: 10.1111/j.1745-4603.2000.tb00287.x.

10. Mohebbi Sh., Babalar M., Zamani Z. Influence of early season boron spraying and postharvest calcium dip treatment on cell-wall degrading enzymes and fruit firmness in 'Starking Delicious' apple during storage // Scientia Horti culturae. 2020. Vol. 259(5). 108822 p. doi: 10.1016/j.scienta.2019.108822.

11. Conway W.S., Sams C.E. Calcium infiltration of Golden Delicious apples and its effect on decay // Phytopath. 1983. Vol. 73. P. 1069–1071.

12. Scott K.J., Wills R.B.H. Effects of vacuum and pressure infiltration of calcium chloride and storage temperature on the incidence of bitter pit and low temperature breakdown of apples // Aust. J. Agric. Res. 1979. Vol. 30. P. 917–928. doi: 10.1071/ar9790917.

13. Анализ способов обработки плодовых культур перед закладкой на хранение (литературный обзор) / В.А. Кунина [и др.] // Субтропическое и декоративное садоводство. 2023. № 86. С. 35–53. doi: 10.31360/2225-3068-2023-86-35-53.

14. Воробьев В.Ф., Лисина А.В. История создания и развития исследований в отделе хранения и переработки // Плодоводство и ягодоводство России. 2010. Т. 25. С. 318–325.

15. Firmness and decay of apples following postharvest pressure infiltration of calcium and heat treatment / C.E. Sams [et al.] // J. Amer. Soc. Hort. Sci. 1993. Vol. 118(5). P. 623–627. doi: 10.21273/JASHS.118.5.623.

16. Примаченко Б.Д., Черников Е.А. Влияние некорневых подкормок кальцийсодержащим препаратом в 2023 году на продуктивность и качество плодов яблони Голден Делишес Рейнджерс // Научные труды СКФНЦБВ. 2024. Т. 38. С. 81–84. doi: 10.30679/2587-9847-2024-38-81-84.

17. Методы биохимического исследования растений / А.И. Ермаков [и др.]. М. : Изд-во сельхоз. лит-ры, 1952. 520 с.

18. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под общ. ред. Е.Н. Седова и Т.П. Огольцовой. Орел : ВНИИСПК, 1999. 606 с.

19. Зайцев Г.Н. Методика биометрических расчетов. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М. : Наука, 1973. С. 41–42.

20. Биохимический состав плодов яблони районированных сортов, произрастающих в разных агроценозах / Н.Л. Наумова [и др.] // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2023. Т. 13. № 2. С. 255–262. doi: 10.21285/2227-2925-2023-13-2-255-262.

Информация об авторах

А. Я. Долженко – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник Федерального Алтайского научного центра агробιοтехнологий.

REFERENCES

1. Trosko, E.S. & Gunina, Yu.S. (2024). Some features of the storage of applefruits for Altai breeding varieties. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 29–34. (In Russ). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.004.
2. Borovik, E.S. (2012). The influence of macro and microfertilizers on apple fruit quality and storability. *Fruit Growing*, 24(1), 272–278. (In Russ.).

3. Pazukhin, S.A., Mazets, Zh.E. & Krivorot, A.M. (2013). The influence of physiologically active substances on the formation of qualitative characteristics of apple fruits during storage. *BSPU Bulletin*, 3(1), 10-14. (In Russ.).
4. Prichko, T.G. (2004). Regulation of fruit quality during cultivation, harvesting, storage and processing, *Horticulture and viticulture*, (6), 2-4. (In Russ.).
5. Rodikov, S.A. (2014). Heat treatment apple fruit after harvest before storage. *Reports of the Russian Academy of agricultural sciences*, (6), 55-56. (In Russ.).
6. Kopylov, V.I., Balykina, E.B. & Berenshtein, I.B. (2016). Gardening system of the Republic of Crimea: monograph. Simferopol: Arial. (In Russ.).
7. Veshchugin, S.V. (2008). Varietal features of apple fruit quality formation in the orchard for storage in the conditions of the Lower Volga region. Extended abstract of candidate's thesis. Michurinsk. (In Russ.).
8. Kolesnov, A.Yu. & Zenina, M.A. (2015). Modern methods of managed product quality in technologies of cultivation and storage of fruit and vegetables. *Food industry*, (5), 11-19. (In Russ.).
9. Abbott, J.A., Klein, J.D., Campbell, T.A., Conway, W.S. & Sams, C.E. (2000). Sensory and firmness measurements of calcium- and heat-treated apples. *Journal of Texture Studies*, (31), 109-121. doi: 10.1111/j.1745-4603.2000.tb00287.x.
10. Mohebbi, Sh., Babalar, M. & Zamani, Z. (2020). Influence of early season boron spraying and postharvest calcium dip treatment on cell-wall degrading enzymes and fruit firmness in 'Starking Delicious' apple during storage. *Scientia Horticulturae*, 259 (5), 108822. doi: 10.1016/j.scienta.2019.108822.
11. Conway, W.S. & Sams, C.E. (1983). Calcium infiltration of Golden Delicious apples and its effect on decay. *Phytopath*, (73), 1069-1071.
12. Scott, K.J. & Wills, R.B.H. (1979). Effects of vacuum and pressure infiltration of calcium chloride and storage temperature on the incidence of bitter pit and low temperature breakdown of apples. *Aust. J. Agric Res.*, (30), 917-928. doi: 10.1071/ar9790917.
13. Kunina, V.A., Platonova, N.B., Nevodov, P.A. & Moskvichova, V.V. (2023). Analysis for fruit crops treatment methods before storing (literature review). *Subtropical and ornamental horticulture*, (86), 35-53. (In Russ.). doi: 10.31360/2225-3068-2023-86-35-53.
14. Vorobyov, V.F. & Lisina, A.V. (2010). History of creation and development of research in the department of storage and processing. *Pomiculture and small fruits culture in Russia*, (25), 318-325. (In Russ.).
15. Sams, C.E., Conway, W.S., Abbott, J.A., Lewis, R.J. & Ben-Shalom, N. (1993). Firmness and decay of apples following postharvest pressure infiltration of calcium and heat treatment. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 118(5), 623-627. doi: 10.21273/JASHS.118.5.623.
16. Primachenko, B.D. & Chernikov, E.A. (2024). The effect of foliar top dressing with a calcium-containing preparation in 2023 on the productivity and quality of the fruits of the Golden Delicious Rangers apple tree. *Scientific works NCFSCHVW*, (38), 81-84. (In Russ.). doi: 10.30679/2587-9847-2024-38-81-84.
17. Ermakov, A.I. & Arasimovich, V.V. (1952). Methods of biochemical research of plants. Moscow : Agricultural literature. (In Russ.).
18. Sedov, E.N. & Ogor'cova, T.P. (1999). Program and methodology for studying varieties of fruit, berry and nut crops. Orel : VNIISPK. (In Russ.).
19. Zajcev, G.N. (1973). Method of biometric calculations. Mathematical statistics in experimental botany. Moscow: Science. (in Russ.).
20. Naumova, N.L., Lukin, A.A., Slepneva, T.N. & Velisevich, E.A. (2023). Biochemical composition of zoned apple varieties growing in different agroecosystems. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*, 13(2), 255-262. (in Russ.). doi: 10.21285/2227-2925-2023-13-2-255-262.

Information about the authors

A. Ya. Dolzhenko - Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher at the Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnologies.

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

Статья поступила в редакцию 22 октября 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 22 Oct 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК664

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.014



МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЦЕПТУРНОЙ КОМПОЗИЦИИ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВАРЕНОГО КОЛБАСНОГО ИЗДЕЛИЯ НА РАСТИТЕЛЬНОЙ ОСНОВЕ

Антонина Александровна Рядинская¹, Сергей Александрович Чуев²,
Елена Петровна Ерёменко³

^{1, 2, 3} Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина», п. Майский, Россия

¹ antonina.yurchenko.63@mail.ru

² info@bsaa.edu.ru

³ bibl@belgau.ru

Аннотация. Статья содержит результаты исследования по моделированию рецептурной композиции вареного колбасного изделия на растительной основе для вегетарианского типа питания. Рассмотрено влияние муки из разных бобовых культур (соя, горох, люпин, нут и чечевица) на пищевую ценность, содержание энергии, пищевых волокон, концентрацию минералов и содержание витаминов в продукте. Установлены функциональные свойства экспериментальных образцов вареного колбасного изделия на растительной основе. Проведена органолептическая оценка продукта.

Наилучшим экспериментальным вариантом определено вареное колбасное изделие на растительной основе, изготовленное с соевой мукой. Оно обладало функциональными свойствами по шести позициям (пищевые волокна – 15 %, витамин В₂ – 15 %, витамин В₉ – 20 %, калий – 21 %, магний – 22 % и фосфор – 17 %) и получило 20 баллов из 20 возможных по итогам оценки органолептических свойств.

Ключевые слова: вегетарианский тип питания, вареное колбасное изделие на растительной основе, пищевая ценность, витамины, минералы, пищевые волокна.

Для цитирования: Рядинская А. А., Чуев С. А., Ерёменко Е. П. Моделирование рецептурной композиции и оценка качества вареного колбасного изделия на растительной основе // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 85–91. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.014. EDN: <https://elibrary.ru/ELXPBC>.

Original article

MODELING OF A RECIPE COMPOSITION AND EVALUATION OF QUALITY OF BOILED SAUSAGE PLANT-BASED

Antonina A. Ryadinskaya¹, Sergey A. Chuev², Elena P. Eremenko³

Russia Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin», Maysky village, Russia

¹ antonina.yurchenko.63@mail.ru

² info@bsaa.edu.ru

³ bibl@belgau.ru

Abstract. The article contains the results of a study on modeling the recipe composition of a boiled sausage product on a plant basis for a vegetarian type of food. The influence of flour from various legumes (soybeans, peas, lupines, chickpeas and lentils) on nutritional value, energy content, dietary fiber, mineral concentration and vitamin content in the product is considered. The functional properties of experimental samples of boiled sausage based on a vegetable have been established. An organoleptic evaluation of the product was carried out.

The best experimental sample was a boiled sausage product on a vegetable basis, made with soy flour. It had functional properties in six positions (dietary fiber - 15 %, vitamin В₂ - 15 %, vitamin В₉ - 20 %, potassium - 21 %, magnesium - 22 % and phosphorus - 17 %) and received 20 points out of 20 possible according to the results of the evaluation of organoleptic properties.

Keywords: vegetarian type of food, plant-based boiled sausage, nutritional value, vitamins, minerals, dietary fiber.

For citation: Ryadinskaya, A.A., Chuev, S.A., Eremenko, E.P. (2025). Modeling of a recipe composition and evaluation of quality of boiled sausage plant-based. Polzunovskiy vestnik, (3), 85-91. (In Russ). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.014. EDN: <https://elibrary.ru/ELXPBC>.

© Рядинская А. А., Чуев С. А., Еременко Е. П., 2025

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время наблюдается увеличение поклонников здорового образа жизни, в том числе и питания. Интерес растет и среди молодежи. Население наращивает познания в сфере культуры питания. Приходит понимание того, что влияет на самочувствие и обмен веществ.

Убеждения, этические или диетические соображения, особенности здоровья, наличие определенных заболеваний, наследственность или экономические возможности способствуют увеличению сторонников вегетарианского типа питания, имеющего много разновидностей.

В нашей стране модная культура отказа от мяса развивается длительное время. Открыты вегетарианские точки общественного питания, в сетевых супермаркетах предусмотрены «веганские полки», новостные ленты и блоги насыщены сообщениями о «растительном» мясе.

Целевая аудитория покупателей вегетарианских продуктов достаточно обширная. Около 3 % россиян придерживаются вегетарианского типа питания. При этом треть населения старается вести здоровый образ жизни. При этом спрос на вегетарианские продукты связан и с интересом населения к подобным продуктам как к модным новинкам.

Главная опасность вегетарианского типа питания заключается в нехватке витаминов, минералов и полноценных белковых веществ. Одним из способов решения вопроса является активное включение в повседневный рацион блюд из бобовых культур. Однако статистика потребления бобовых указывает, что они непопулярны среди населения, видимо, из-за отсутствия приятного вкуса, несмотря на их очевидную пользу для здоровья.

Кроме того, среди вегетарианцев растет потребность в продуктах, внешний вид, вкус и название у которых как у мясных, т.е. на их аналоги [1, 2].

Целью работы явилось исследование возможности использования муки из различных бобовых культур в технологии вареных колбасных изделий на растительной основе для улучшения их функционально-технологических свойств и включения в меню сторонников вегетарианского типа питания.

Задачи:

- изучить особенности вегетарианского типа питания;
- смоделировать рецептурные композиции вареных колбасных изделий на растительной основе;
- разработать экспериментальные варианты продукта;
- произвести расчет пищевой и энергетической ценности, содержания минералов и витаминов, скор полезных веществ в готовых вареных колбасных изделиях на растительной основе;
- провести органолептические испытания экспериментальных вариантов продукта;
- оценить функциональные свойства вареных колбасных изделий на растительной основе с учетом полезных ингредиентов из различных бобовых культур.

Объектами проведенных исследований служили пять экспериментальных вариантов продукта для вегетарианского типа питания.

МЕТОДЫ

Для выполнения цели исследования в рамках поставленных задач инициированы и выполнены работы на кафедре технологии производства и перера-

ботки сельскохозяйственной продукции технологического факультета ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ. Экспериментальные исследования обусловлены необходимостью расширения ассортимента аналогов мясных продуктов с функциональными свойствами.

Пищевую и энергетическую ценность, концентрацию минералов и витаминов в вареных колбасных изделиях на растительной основе оценивали посредством определения количества полезных веществ в 100 г продукта. С помощью метода экспертного опроса проведена органолептическая оценка экспериментальных вариантов по 5-балльной шкале.

Полученные цифровые данные обработаны посредством статистических методов.

Изучены:

- экспериментальный вариант № 1 – вареное колбасное изделие на растительной основе, изготовленное с соевой мукой;
- экспериментальный вариант № 2 – вареное колбасное изделие на растительной основе, изготовленное с гороховой мукой;
- экспериментальный вариант № 3 – вареное колбасное изделие на растительной основе, изготовленное с люпиновой мукой;
- экспериментальный вариант № 4 – вареное колбасное изделие на растительной основе, изготовленное с нутовой мукой;
- экспериментальный вариант № 5 – вареное колбасное изделие на растительной основе, изготовленное с чечевичной мукой.

С учетом принятых технологических решений разработана рецептурная таблица вареных колбасных изделий на растительной основе (табл. 1).

Таблица 1 – Экспериментальные рецептурные композиции вареных колбасных изделий на растительной основе

Table 1 – Experimental recipe compositions of boiled sausage products on a vegetable basis

Ингредиент	Вариант вареного колбасного изделия на растительной основе				
	1	2	3	4	5
Вода (мл)	670	670	670	670	670
Соевая мука (г)	200	x	x	x	x
Гороховая мука (г)	x	200	x	x	x
Люпиновая мука (г)	x	x	200	x	x
Нутовая мука (г)	x	x	x	200	x
Чечевичная мука (г)	x	x	x	x	200
Подсолнечное масло (мл)	50	50	50	50	50
Агар-агар (г)	35	35	35	35	35
Свекольный порошок (г)	20	20	20	20	20
Молотый перец (г)	7	7	7	7	7
Молотый кардамон (г)	5	5	5	5	5
Молотый кориандр (г)	5	5	5	5	5
Молотый мускатный орех (г)	5	5	5	5	5
Соль (г)	3	3	3	3	3

Бобовые культуры признаны основным источником растительного белка, для которого характерна высокая биологическая ценность и усвояемость, что позволяет выступать альтернативой белковых ве-

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЦЕПТУРНОЙ КОМПОЗИЦИИ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВАРЕНОГО КОЛБАСНОГО ИЗДЕЛИЯ НА РАСТИТЕЛЬНОЙ ОСНОВЕ

ществ животного происхождения. Кроме того, растительные белки хорошо дополняют животные белки, балансируют по аминокислотному составу. Их включают во многие кулинарные блюда, в том числе из мясного и рыбного фарша [3].

Также бобовые накапливают полисахариды, обладают низким гликемическим индексом.

В составе соевой муки присутствуют пищевые волокна, натрий, витамины Е, РР, А, тиамин и рибофлавин.

Также соевой муке свойственна высокая водопоглощательная способность, что способствует приданию правильной текстуры готовым изделиям [4–6].

Горох широко выращивается сельскохозяйственными товаропроизводителями России и мира. Муку из зерна культуры включают в рецептуры хлебобулочных, мучных кондитерских, молочно-растительных, комбинированных рыбо- и мясорастительных изделий, восточных сладостей, продуктов для сторонников диетического, спортивного и вегетарианского типа питания.

Для горохового белка характерны хорошая эмульгирующая и железирующая способность, низкая аллергенность [6–8].

В люпиновой муке зафиксированы жиры, пищевые волокна, углеводы, каротиноиды, витамин Е, минералы; особенно богата магнием. Ее используют в изготовлении безглютеновых пищевых продуктов с диетическими и лечебно-профилактическими свойствами, косметических продуктов и фармацевтических препаратов, мясных, молочных, кондитерских и хлебобулочных изделий.

Ввод люпиновой муки в продукты питания позволяет заменить часть яиц, жиров и эмульгаторов, способствует улучшению вкуса, текстуры и влагоудерживающей способности. Она легко диспергируется в сыпучих, пастообразных или жидких средах.

Ежегодно европейские страны потребляют около 500 тыс. т продуктов, содержащих люпин [9–11].

В нутовой муке присутствуют белок, простые углеводы (среди них много пищевых волокон), мононенасыщенные жирные кислоты (олеиновая, ленолевая и линоленовая), витамины группы В, отдельные минералы (железо, фосфор, магний и калий). Для нее характерны водоудерживающая, водосвязывающая и гелеобразующая способность. Углеводы муки из нута в основном состоят из крахмала, который обладает вязкостью и повышенной набухаемостью [12, 13].

Чечевичная мука содержит много железа, значительное количество незаменимых аминокислот, богата минеральными веществами и витаминами.

Мука из чечевицы из-за низкого накопления жиров обладает высокой эмульгирующей способностью. Чечевичную муку используют в хлебопечении, в кондитерской промышленности, добавляют в колбасные изделия.

Известно, что в муке из чечевицы содержатся изофлавоны, обладающие противораковыми свойствами, и β -каротин [14–17].

Объектами исследования стали образцы готовых вареных колбасных изделий на растительной основе, выработанные следующим образом.

Свекольный порошок делали из корнеплодов столовой свеклы местного производства. Агар-агар замачивали. Все сухие ингредиенты перемешивали, добавляли холодную воду, тщательно размешивали смесь до достижения однородности. Вливали агар-агар. Полученную массу варили, постоянно помешивая и не допуская пригорания. После варки в массу быстро вмешивали масло. После чего ее выкладывали в форму для колбасы и охлаждали в холодильнике 12 часов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Пищевую ценность изготовленных образцов вареного колбасного изделия на растительной основе оценивали посредством установления количества белков, жиров и углеводов в 100 г продукта.

Содержание белков варьировало от 4,4 г в вареном колбасном изделии на растительной основе, изготовленном с гороховой мукой, до 10,4 г в вареном колбасном изделии на растительной основе, изготовленном с соевой мукой (табл. 2).

Таблица 2 – Пищевая и энергетическая ценность порции готового продукта (100 г) и содержание в ней пищевых волокон

Table 2 – Nutritional and energy value of a portion of the finished product (100 g) and the content of dietary fiber in it

Вариант	Пищевая ценность (г)			Энергетическая ценность (кКал)	Пищевые волокна (г)
	Белки	Жиры	Углеводы		
1	10,5 ±0,41	5,3 ±0,23	7,5 ±0,36	119,7 ±5,77	4,4 ±0,19
2	4,4 ±0,19	5,5 ±0,25	11,2 ±0,52	111,8 ±5,44	2,9 ±0,28
3	8,3 ±0,32	6,9 ±0,32	4,8 ±0,21	114,6 ±5,63	7,5 ±0,26
4	4,8 ±0,21	6,4 ±0,29	13,4 ±0,63	130,4 ±6,41	3,1 ±0,12
5	5,1 ±0,22	5,4 ±0,24	14,0 ±0,65	124,9 ±6,13	3,2 ±0,13

Концентрация жиров в экспериментальных вариантах изменялась от 5,3 г в вареном колбасном изделии на растительной основе, изготовленном с соевой мукой, до 6,9 г в вареном колбасном изделии на растительной основе, изготовленном с люпиновой мукой.

Уровень накопления углеводов составил от 4,8 г в вареном колбасном изделии на растительной основе, изготовленном с люпиновой мукой, до 14,0 г в вареном колбасном изделии на растительной основе, изготовленном с чечевичной мукой.

Энергетическая ценность экспериментальных вариантов варьировала от 111,8 кКал в вареном колбасном изделии на растительной основе, изготовленном с гороховой мукой, до 130,4 кКал в вареном колбасном изделии на растительной основе, изготовленном с нутовой мукой.

Концентрация пищевых волокон изменялась от 2,9 г в вареном колбасном изделии на растительной основе, изготовленном с гороховой мукой, до 7,5 г в вареном колбасном изделии на растительной основе, изготовленном с люпиновой мукой.

Рассмотрен уровень накопления минералов в экспериментальных вариантах (табл. 3).

Наибольшее содержание калия – 515,3 мг – установлено в вареном колбасном изделии на растительной основе, изготовленном с соевой мукой; наименьшее – 183,2 мг – в вареном колбасном изделии на растительной основе, изготовленном с чечевичной мукой.

Наивысшая концентрация кальция – 78,7 мг – определена в вареном колбасном изделии на растительной основе, изготовленном с соевой мукой; наименьшая – 33 мг – в вареном колбасном изделии на растительной основе, изготовленном с гороховой мукой.

Таблица 3 – Содержание макроэлементов в порции готового продукта (100 г)

Table 3 – Macronutrient content per serving of the finished product (100 g)

Вариант	Макроэлементы (мг)				
	К	Ca	Mg	Na	P
1	515,3 ±24,65	78,7 ±3,81	87,9 ±4,28	121,2 ±5,94	138,4 ±6,81
2	184,0 ±9,0	33,0 ±1,54	26,2 ±1,21	120,3 ±5,89	69,7 ±3,35
3	243,9 ±12,01	64,2 ±3,10	68,2 ±3,31	120,2 ±5,89	92,2 ±4,49
4	217,0 ±9,74	40,6 ±1,92	63,8 ±3,05	129,8 ±6,38	69,3 ±3,34
5	183,2 ±8,95	48,0 ±2,27	47,1 ±2,24	128,0 ±6,25	83,3 ±4,03

Наибольший уровень накопления магния – 87,9 мг – зафиксирован в вареном колбасном изделии на растительной основе, изготовленном с соевой мукой; наименьший – 26,2 мг – в вареном колбасном изделии на растительной основе, изготовленном с гороховой мукой.

Наивысшее содержание натрия – 129,8 мг – установлено в вареном колбасном изделии на растительной основе, изготовленном с нутовой мукой; наименьшее – 120,2 мг и 120,3 мг – в вареном колбасном изделии на растительной основе, изготовленном с гороховой мукой, соответственно.

Наибольшая концентрация фосфора – 138,4 мг – определена в вареном колбасном изделии на растительной основе, изготовленном с соевой мукой; наименьшая – 69,3 мг – в вареном колбасном изделии на растительной основе, изготовленном с нутовой мукой.

Изучено накопление витаминов группы В в экспериментальных вариантах (табл. 4).

Таблица 4 – Содержание витаминов группы В в порции готового продукта (100 г)

Table 4 – The content of B vitamins per serving of the finished product (100 g)

Вариант	Витамины (мг)				
	B ₁	B ₂	B ₅	B ₆	B ₉
1	0,14 ±0,006	0,27 ±0,011	0,50 ±0,021	0,13 ±0,005	79,35 ±3,84
2	0,16 ±0,007	0,25 ±0,010	0,44 ±0,018	0,06 ±0,004	3,59 ±0,16
3	0,13 ±0,006	0,27 ±0,011	0,26 ±0,011	0,08 ±0,004	89,05 ±4,31
4	0,10 ±0,005	0,25 ±0,010	0,23 ±0,009	0,11 ±0,005	104,95 ±5,12
5	0,10 ±0,005	0,27 ±0,011	0,34 ±0,015	0,01 ±0,002	37,64 ±1,72

Содержание тиамина (витамина В₁) составило от 0,10 мг в вареном колбасном изделии на растительной основе, изготовленном с нутовой мукой и чечевичной мукой, до 0,16 мг в вареном колбасном изделии на растительной основе, изготовленном с гороховой мукой.

Концентрация рибофлавина (витамина В₂) составила от 0,25 мг в вареном колбасном изделии на

растительной основе, изготовленном с гороховой мукой и нутовой мукой, до 0,27 мг в других экспериментальных вариантах.

Уровень накопления пантотеновой кислоты (витамина В₅) составил от 0,23 мг в вареном колбасном изделии на растительной основе, изготовленном с нутовой мукой, до 0,5 мг в вареном колбасном изделии на растительной основе, изготовленном с соевой мукой.

Содержание пиридоксина (витамина В₆) составило от 0,01 мг в вареном колбасном изделии на растительной основе, изготовленном с чечевичной мукой, до 0,13 мг в вареном колбасном изделии на растительной основе, изготовленном с соевой мукой.

Концентрация фолиевой кислоты (витамина В₉) составила от 3,59 мг в вареном колбасном изделии на растительной основе, изготовленном с гороховой мукой, до 104,95 мг в вареном колбасном изделии на растительной основе, изготовленном с нутовой мукой.

Также в экспериментальных вариантах зафиксированы иные витамины (табл. 5).

Таблица 5 – Концентрация отдельных витаминов в порции готового продукта (100 г)

Table 5 – Concentration of individual vitamins per serving of the finished product (100 g)

Вариант	Витамины (мг)			
	А (мкг)	К	С	РР
1	0,60 ±0,024	3,00 ±0,148	0,43 ±0,019	0,66 ±0,025
2	0,60 ±0,024	1,37 ±0,057	0,78 ±0,029	1,41 ±0,065
3	0,21 ±0,009	2,20 ±0,112	1,26 ±0,052	0,57 ±0,024
4	0,60 ±0,024	3,97 ±0,186	0,43 ±0,019	0,49 ±0,021
5	1,18 ±0,048	2,20 ±0,112	0,43 ±0,019	1,22 ±0,058

Уровень накопления витамина А составил от 0,21 мкг в вареном колбасном изделии на растительной основе, изготовленном с люпиновой мукой, до 1,18 мкг в вареном колбасном изделии на растительной основе, изготовленном с чечевичной мукой.

Содержание витамина К составило от 1,37 мг в вареном колбасном изделии на растительной основе, изготовленном с гороховой мукой, до 3,97 мг в вареном колбасном изделии на растительной основе, изготовленном с нутовой мукой.

Концентрация витамина С составила от 0,43 мг в вареном колбасном изделии на растительной основе, изготовленном с соевой мукой, нутовой мукой и чечевичной мукой; до 1,26 мг в вареном колбасном изделии на растительной основе, изготовленном с люпиновой мукой.

Уровень накопления витамина РР составил от 0,49 мг в вареном колбасном изделии на растительной основе, изготовленном с нутовой мукой, до 1,22 мг в вареном колбасном изделии на растительной основе, изготовленном с чечевичной мукой.

ОБСУЖДЕНИЕ

Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 г. указывает на необходимость удовлетворения физиологических потребностей граждан в питательных веществах. Уделя-

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЦЕПТУРНОЙ КОМПОЗИЦИИ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВАРЕНОГО КОЛБАСНОГО ИЗДЕЛИЯ НА РАСТИТЕЛЬНОЙ ОСНОВЕ

ется особое внимание разработкам и внедрению рационов питания, базирующихся на высококачественных и безопасных продуктах. Особенно важно включение в ежедневное питание функциональных блюд [18, 19].

Выполнен анализ данных расчета нутриентного баланса экспериментальных вариантов вареного колбасного изделия с учетом потребности организма человека в пищевых веществах, энергии, минеральных веществ и витаминах.

Обеспеченность белковыми соединениями изменялась от 4 % у вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленном с гороховой мукой, нутовой мукой; до 9 % у вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленном с соевой мукой.

Насыщенность жирами варьировала от 3 % у вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленном с соевой мукой, чечевичной мукой; до 5 % у вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленном с люпиновой мукой.

Обеспеченность углеводами изменялась от 1 % у вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленном с соевой мукой, люпиновой мукой; до 2 % у вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленном с гороховой мукой, нутовой мукой и чечевичной мукой.

Насыщенность энергией варьировала от 4 % у вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленном с гороховой мукой; до 5 % у вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленном с мукой из сои, люпина, нута и чечевицы.

Обеспеченность пищевыми волокнами изменялась от 10 % у вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленном с гороховой мукой, нутовой мукой; до 25 % у вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленном с люпиновой мукой (рис. 1).

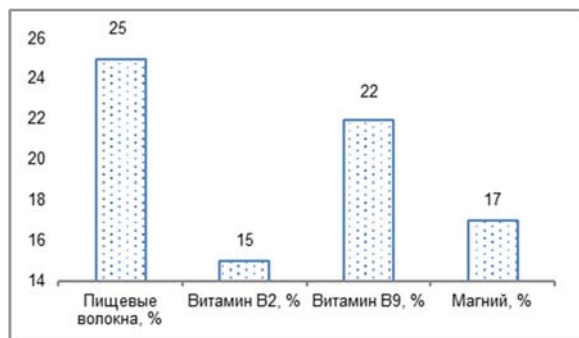


Рисунок 1 – Функциональные свойства вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленное с люпиновой мукой

Figure 1 – Functional properties of boiled vegetable-based sausage made with lupine flour

Насыщенность тиамин (витамином B₁) варьировала от 7 % у вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленном с нутовой мукой, чечевичной мукой; до 11 % у вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленном с гороховой мукой.

Обеспеченность рибофлавином (витамином B₂) изменялась от 14 % у вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленном с гороховой мукой, нутовой мукой; до 15 % у вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленном с соевой мукой, люпиновой мукой, чечевичной мукой (рис. 2).

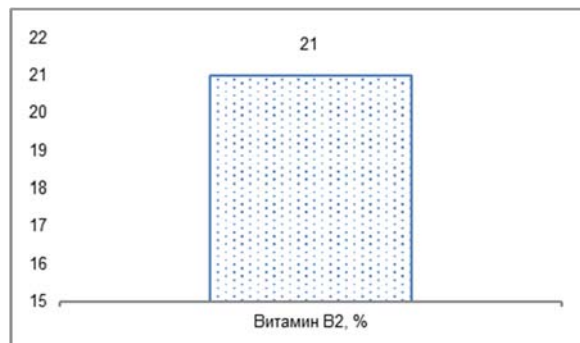


Рисунок 2 – Функциональные свойства вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленное с чечевичной мукой

Figure 2 – Functional properties of boiled vegetable-based sausage made with lentil flour

Насыщенность пантотеновой кислотой (витамином B₅) варьировала от 5 % у вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленном с люпиновой мукой, нутовой мукой; до 10 % у вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленном с соевой мукой.

Обеспеченность пиридоксин (витамином B₆) изменялась от 1 % у вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленном с чечевичной мукой; до 6 % у вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленном с соевой мукой.

Насыщенность фолиевой кислотой (витамином B₉) варьировала от 1 % у вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленном с гороховой мукой; до 26 % у вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленном с нутовой мукой (рис. 3).

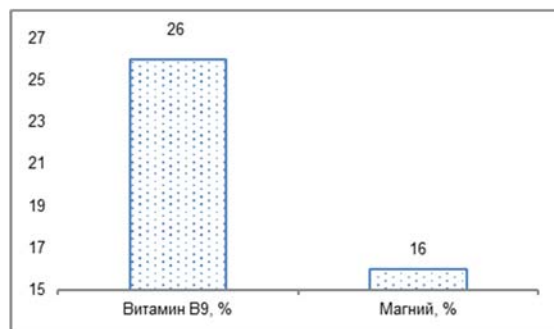


Рисунок 3 – Функциональные свойства вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленное с нутовой мукой

Figure 3 – Functional properties of boiled vegetable-based sausage made with chickpea flour

Обеспеченность витамином А у экспериментальных вариантов составила менее 1 %.

Насыщенность витамином К варьировала от 1 % у вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленном с гороховой мукой; до 3 % у вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленном с нутовой мукой.

Обеспеченность витамином С составила менее 1 % у вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленном с соевой мукой, нутовой мукой и чечевичной мукой; 1 % у вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленном с гороховой мукой, люпиновой мукой.

Насыщенность витамином РР варьировала от 2 % у вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленном с нутовой мукой; до 7 % у вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленном с гороховой мукой.

Обеспеченность калием изменялась от 7 % у вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленном с гороховой мукой, чечевичной мукой; до 21 % у вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленном с соевой мукой (рис. 4).

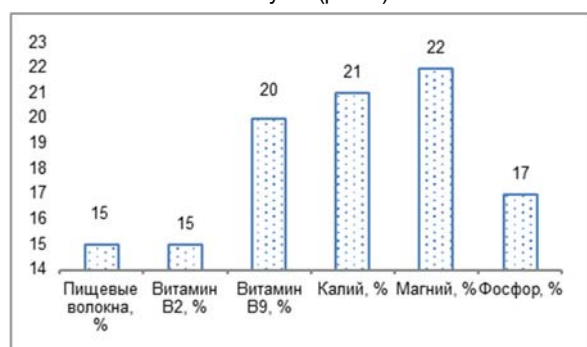


Рисунок 4 – Функциональные свойства вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленное с соевой мукой

Figure 4 – Functional properties of boiled vegetable-based sausage made with soy flour

Насыщенность кальцием варьировала от 3 % у вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленного с гороховой мукой; до 8 % у вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленного с соевой мукой.

Обеспеченность магнием изменялась от 7 % у вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленного с гороховой мукой; до 22 % у вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленного с соевой мукой.

Насыщенность варьировала от 9 % у вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленного с соевой мукой, гороховой мукой и люпиновой мукой; до 10 % у вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленного с нутовой мукой, чечевичной мукой.

Обеспеченность фосфором изменялась от 9 % у вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленного с гороховой мукой, нутовой мукой; до 17 % у вареного колбасного изделия на растительной основе, изготовленного с соевой мукой.

Готовый продукт – вареное колбасное изделие на растительной основе рассмотрели на соответствие требованиям ГОСТ Р 71528-2024 «Технические критерии пищевых продуктов и пищевых ингредиентов, пригодных для вегетарианцев или веганов, а также для маркировки и заявлений». Разработанный продукт является пригодным для вегетарианского типа питания.

Органолептическая оценка экспериментальных образцов проведена методом дегустации экспертной комиссией с применением 5-балльной шкалы. Эксперты сравнили вкус, внешний вид, цвет и запах (аромат) экспериментальные варианты вареного колбасного изделия на растительной основе.

Вкус и запах являются важнейшими органолептическими показателями качества пищевых продуктов. В условиях расширения производства продукции для вегетарианского типа питания вопрос управления вкусом и запахом приобретает особую актуальность [20].

Экспериментальные варианты вареного колбасного изделия на растительной основе получили от 17 до 20 баллов (рисунок 5).

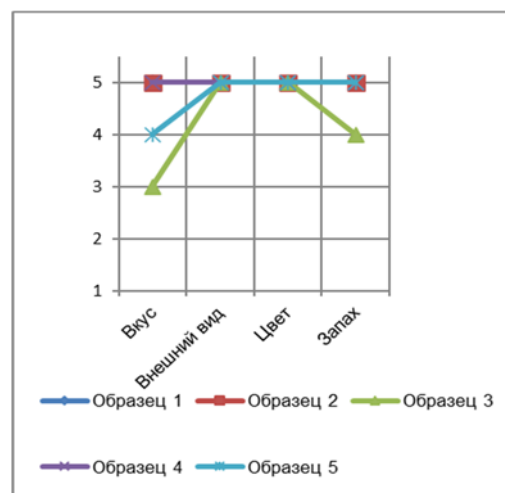


Рисунок 5 – Органолептическая оценка экспериментальных вариантов вареного колбасного изделия на растительной основе

Figure 5 – Organoleptic evaluation of experimental variants of boiled sausage based on vegetable

Отмечена нежная консистенция продукта.

ВЫВОДЫ

Смоделированы рецептурные композиции и проведена оценка качества вареного колбасного изделия на растительной основе для включения в рацион взрослого населения, не употребляющего мясо и продукты его переработки.

Подтверждены функциональные свойства готового продукта обеспечивать организм человека биологически значимыми веществами на 15 % и более (ГОСТ Р 56145-2014).

По содержанию полезных веществ и по итогам органолептической оценки оптимальным стало вареное колбасное изделие на растительной основе, изготовленное с соевой мукой. При наивысших баллах органолептических свойств (20 из 20) порция продукта объемом в 100 г способна удовлетворить потребность взрослого человека в белке на 9 %, жирах – 3 %, углеводах – 1 %, энергии – 5 %, пищевых волокнах – 15 %, витамине А – 0,1 %, витамине В₁ – 9 %, витамине В₂ – 15 %, витамине В₅ – 10 %, витамине В₆ – 6 %, витамине В₉ – 20 %, в витамине К – 2 %, витамине С – 0,5 %, витамине РР – 3 %, калии – 21 %, кальции – 8 %, магнии – 22 %, натрии – 9 % и фосфоре – 17 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кондрашов А.А. Моделирование рецептур блюд на основе растительного сырья для определенной группы населения / А.А. Кондрашов // Конкурентоспособность территорий : Материалы XX Всероссийского экономического форума молодых ученых и студентов. В 8-ми частях, Екатеринбург, 27–28 апреля 2017 г. / Ответственные за выпуск Я.П. Силин, Е.Б. Дворяждина. Часть 7. Екатеринбург : Уральский государственный экономический университет, 2017. С. 51–54. EDN XNWJUD.
2. Кузнецова О.В. Вегетарианские продукты – полезная диета или модный тренд? / О.В. Кузнецова, А.Ю. Жукова // Все о мясе. 2020. № 1. С. 34–36. DOI: 10.21323/2071-2499-2020-1-34-36.EDN FACNFL.
3. Перфилова О.В. Гороховая мука с позиции антиоксидантной активности // Вестник Уральского государственного университета. 2019. № 1. С. 10–12. DOI: 10.26907/2542-0419.2019.1.10-12.EDN FJHJUD.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЦЕПТУРНОЙ КОМПОЗИЦИИ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВАРЕНОГО КОЛБАСНОГО ИЗДЕЛИЯ НА РАСТИТЕЛЬНОЙ ОСНОВЕ

дантной ценности / О.В. Перфилова, З.Ю. Родина // Наука и Образование. 2023. Т. 6, № 4. EDN MPAWAY.

4. Гурьянова А.В. Разработка рецептуры вафельных листов с использованием соевой муки / А.В. Гурьянова // Молодежь XXI века: шаг в будущее: материалы XXI региональной научно-практической конференции: в 4 т., Благовещенск, 20 мая 2020 г. Том 4. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2020. С. 23–24. EDN KUYOSS.

5. Ермош Л.Г. Использование гречневой и соевой муки для повышения биологической ценности бисквитных изделий / Л.Г. Ермош, Н.В. Присухина // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития : Материалы международной научно-практической конференции ; Красноярск, 20–22 апреля 2021 г. Том 1 Часть 2. Красноярск : Красноярский государственный аграрный университет, 2021. С. 286–289. EDN RMMASM.

6. Оптимизация аминокислотного состава мучных изделий с использованием гороховой муки / А.Д. Фахретдинова, С.А. Елисеєва, М. Киреева, Е.В. Трухина // Международный научно-исследовательский журнал. 2024. № 11 (149). DOI: 10.60797/IRJ.2024.149.65.EDN TEBQZS.

7. Зверев С.В. Оптимизация пищевых композиций по профилю идеального белка / С.В. Зверев, В.И. Карпов, М.А. Никитина // Пищевые системы. 2021. Т. 4. № 1. С. 4–11. DOI: 10.21323/2618-9771-2021-4-1-4-11.

8. Приходько Д.В. Получение белковых изолятов из овсяной и гороховой муки и изучение их функциональных свойств / Д.В. Приходько, Д.А. Матишова, А.А. Красноштанова // Science and technologies – 2024 : Сборник статей Международной научно-практической конференции, Петрозаводск, 29 апреля 2024 г. Петрозаводск : Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская И.И.), 2024. С. 260–272. EDN HLUNRP.

9. Тимошенко Е.С. Использование люпиновой муки в производстве продуктов питания / Е.С. Тимошенко, Г.Л. Ятовенко, В.И. Рудкая // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство : Сборник научных трудов, Ярославль, 04–06 мая 2022 г. Выпуск 27 (75). Москва : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Российская академия кадрового обеспечения агропромышленного комплекса», 2022. С. 169–175. DOI: 10.33814/МАК-2022-27-75-169-175.EDN FXDJBZ.

10. Зверев С.В., Зубцов В.А., Жаркова И.М. Использование продуктов первичной переработки зерна белого люпина в пищевом производстве // Повышение качества и безопасности пищевых продуктов : материалы IX Всерос. науч.-практ. конф. Махачкала : Информационно-Полиграфический Центр ДГТУ, 2019. С. 23–31.

11. Печникова Ю.Ю. Влияние дозировки люпиновой муки на показатели качества хлеба из пшеничной муки высшего сорта / Ю.Ю. Печникова, Р.Х. Кандроков, Д.И. Быстров // Вестник КрасГАУ. 2023. № 12(201). С. 290–302. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-12-290-302.EDN DBGJKV.

12. Лаврова Л.Ю. Влияние нутовой муки на качество изделий из творога / Л.Ю. Лаврова // E-Scio. 2023. № 4(79). С. 335–340. EDN OVYTHA.

13. Петрова Л.Д. Перспективность использования нутовой муки в технологии рыбного фарша / Л.Д. Петрова, В.Д. Богданов // Инновации и продовольственная безопасность. 2019. № 1(23). С. 30–35. DOI: 10.31677/2311-0651-2019-23-1-30-35.EDN NPVRLW.

14. Калашникова С.В. Технологические аспекты применения чечевицы в производстве кеков / С.В. Калашникова, Т.Н. Тертычная // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. 2021. № 2 (17). С. 110–114. EDN UOSWUF.

15. Старкова А.В. питательная ценность чечевичной му-

ки / А.В. Старкова, Е.И. Быковская, М.А. Заикина // Новые концептуальные подходы к решению глобальной проблемы обеспечения продовольственной безопасности в современных условиях : Сборник научных статей 10-й Международной научно-практической конференции, Курск, 14 ноября 2022 г. Курск : Юго-Западный государственный университет, 2022. С. 264–268. EDN THBXXM.

16. Тарасенко Д.К. Исследование зерен чечевицы с целью повышения пищевой ценности продуктов питания / Д.К. Тарасенко, Э.А. Пьяникова // Новые концептуальные подходы к решению глобальной проблемы обеспечения продовольственной безопасности в современных условиях подходы к решению глобальной проблемы обеспечения продовольственной безопасности в современных условиях : сборник научных статей VII Международной научно-практической конференции, Курск, 13 ноября 2020 г. Курск : Юго-Западный государственный университет, 2020. С. 365–369.

17. Применение чечевичной муки для улучшения качественных показателей заварки / Н.Н. Типсина, М.С. Белошапкин, Н.А. Гречишников, Е.Л. Демидов // Вестник КрасГАУ. 2023. № 2 (191). С. 242–246. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-2-242-246.EDN LGFIFY.

18. Перспективы использования смесей соевой и пшеничной муки в производстве хлебобулочных изделий / В.Д. Пилякина, Н.М. Дерканосова, А.А. Стахурлова, М.В. Копылов // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. 2023. № 3(22). С. 36–44. DOI: 10.53914/issn2311-6870_2023_3_36.EDN UESORQ.

19. Шаболкина Е.Н., Анисимкина Н.В., Майстренко О.А. Изучение биохимических свойств муки зернобобовых культур (горох, соя), физических и хлебопекарных показателей теста смесей с пшеничной мукой // Зерновое хозяйство России. 2022. № 1 (79). С. 65–69.

20. Жаринов А.И. Дизайн вкуса – новое понятие в мясной отрасли / А.И. Жаринов // Мясной ряд. 2020. № 4(82). С. 46–49. EDN XYFCZY.

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. Чуев – кандидат биологических наук, доцент кафедры производства и переработки сельскохозяйственной продукции технологического факультета ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ.

Е. П. Ерёмченко – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры производства и переработки сельскохозяйственной продукции технологического факультета ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ.

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, Faculty of Technology, Belgorod State Agrarian University.

E.P. Eremenko - Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Production and Processing of Agricultural Products, Faculty of Technology, Belgorod State Agrarian University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 22 октября 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 22 Oct 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.681.9

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.015



ТЕХНОЛОГИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО КЕКСА ДЛЯ ЛЮДЕЙ С ПИЩЕВОЙ АЛЛЕРГИЕЙ НА КУРИНЫЙ БЕЛОК

Мария Сергеевна Киреева ¹, Елена Владимировна Трухина ²,
Евгения Алексеевна Харитоновна ³

^{1, 2, 3} Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия

¹ kireeva_ms@spbstu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4929-5930>

² 0946713@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7381-3457>

³ zenaharitonova832@gmail.com

Аннотация. Проведенные исследования связаны с подбором технологического решения, направленного на исключение яичных продуктов и заменой их растительными компонентами, в технологии кексовых изделий. Для обоснования предложенной технологической схемы изучено влияние суспензии из семян льна в различных соотношениях на формирование потребительских свойств кексов. Опытным путем разработана технология приготовления кексов, включающая полную замену яичных продуктов на суспензию льняной муки с водой в соотношениях 1:2 и 1:3. Учитывая физико-химические изменения полисахаридного комплекса льна при тепловой обработке, отработаны базовые режимы и технологические параметры выпечки изделий с использованием пароконвекционного аппарата.

Для обоснования разработанной технологии проведен сравнительный анализ пищевой и энергетической ценности, физико-химических, органолептических показателей качества опытных образцов в сравнении с контрольным образцом кексов.

Установлено, что использование водной суспензии из семян льна в соотношении 1:3 положительно влияет на формирование показателей качества готовых изделий и позволяет полностью исключить из рецептуры кексов яичные продукты – аллергенные структурообразующие компоненты. Кроме того, студнеобразующие свойства льняной суспензии позволили исключить из рецептуры маргарин, что снизило энергетическую ценность изделий на 14,4 % относительно контрольного образца. Использование семян льна привело к повышению содержания пищевых волокон в 6 раз, что обеспечивает 24 % от рекомендуемой нормы суточного потребления их в одной порции кекса, массой 100 грамм.

В результате физико-химического анализа готовой продукции сделан вывод, что подготовленные семена льна в виде суспензии в соотношении 1:3 являются хорошим структурообразователем за счет своего белково-полисахаридного комплекса. Установлено, что опытный образец № 2 по своим характеристикам соответствует требованиям ГОСТ 15052-2014 и практически не уступает контрольному образцу. Разработанная продукция позволит расширить ассортиментный перечень специализированных продуктов питания без использования куриного белка.

Ключевые слова: технология, кекс с семенем льна, специализированный продукт, полисахаридный комплекс, белково-полисахаридный комплекс, структурообразователь, семена льна, аллергия на куриный белок.

Для цитирования: Киреева М. С., Трухина Е. В., Харитоновна Е. А. Технология специализированного кекса для людей с пищевой аллергией на куриный белок // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 92–97. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.015. EDN: <https://elibrary.ru/CSXYQA>.

Original article

TECHNOLOGY OF A SPECIALISED MUFFIN FOR PEOPLE WITH A FOOD ALLERGY TO CHICKEN PROTEIN

Maria S. Kireeva ¹, Elena V. Trukhina ², Evgenia A. Haritonova ³

^{1, 2, 3} Peter The Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

¹ kireeva_ms@spbstu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4929-5930>

² 0946713@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7381-3457>

³ zenaharitonova832@gmail.com

Abstract. The conducted research is related to the selection of a technological solution aimed at eliminating egg products and replacing them with vegetable components in the technology of cupcake products. To substantiate the proposed technological scheme, the effect of flax seed suspension in various proportions on the formation of consumer properties of cupcakes was studied. A technology for making cupcakes has been experimentally developed, including the complete replacement of egg products with a suspension of flaxseed flour with water in the ratios of 1:2 and 1:3. Taking into account the physico-chemical changes in the polysaccharide complex of flax during heat treatment, the basic modes and technological parameters of baking products using a steam convector have been worked out.

© Киреева М. С., Трухина Е. В., Харитоновна Е. А., 2025

ТЕХНОЛОГИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО КЕКСА ДЛЯ ЛЮДЕЙ С ПИЩЕВОЙ АЛЛЕРГИЕЙ НА КУРИНЫЙ БЕЛОК

To substantiate the developed technology, a comparative analysis of the nutritional and energy values, physico-chemical, organoleptic quality indicators of the prototypes in comparison with the control sample of cupcakes was carried out.

It has been established that the use of an aqueous suspension of flax seeds in a ratio of 1:3 has a positive effect on the formation of quality indicators of finished products and makes it possible to completely exclude egg products, allergenic structure-forming components, from the cupcake formulation. In addition, the jelly-forming properties of the flax slurry made it possible to exclude margarine from the formulation, which reduced the energy value of the products by 14.4 % relative to the control sample. The use of flax seeds has led to a 6-fold increase in dietary fiber content, which provides 24 % of the recommended daily intake in one serving of a cupcake weighing 100 grams.

As a result of the physico-chemical analysis of the finished product, it was concluded that prepared flax seeds in the form of a suspension in a ratio of 1:3 are a good structurizer due to their protein-polysaccharide complex. It has been established that prototype No. 2 meets the requirements of GOST 15052-2014 in its characteristics and is practically not inferior to the control sample. The developed products will allow to expand the assortment list of specialized food products without using chicken protein.

Keywords: technology, cupcake with flax seed, specialized product, polysaccharide complex, protein-polysaccharide complex, structure educator, flax seeds, allergic to chicken protein.

For citation: Kireeva, M.S., Trukhina, E.V. & Haritonova, E.A. (2025). Technology of a specialised muffin for people with a food allergy to chicken protein. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 92-97. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.015. EDN: <https://elibrary.ru/CSXYQA>.

ВВЕДЕНИЕ

В наши дни особенно популярна концепция питания «free from» – продукты «без глютена», «без добавленного сахара», «без лактозы», «без общепринятых аллергенов», продукты с пониженным содержанием соли и жира [1].

Данные эпидемиологических исследований показывают, что не менее 2 % взрослых и 6 % детей страдают различными проявлениями пищевой аллергии (ПА) [2].

Белок яйца считается одним из самых распространенных аллергенов у детей и взрослых. Согласно общепринятой практике, людям, страдающим ПА к куриному яйцу, рекомендуются придерживаться строгой исключительной диеты [3]. Диета предполагает полный отказ от продуктов, в состав которых включены куриные яйца.

Учитывая, что мучные кондитерские изделия весьма популярны в рационе питания разных категорий потребителей, перспективным направлением является разработка специализированных продуктов питания, свободных от определенных ингредиентов, присутствие которых в пище не рекомендовано по медицинским показаниям (аллергены, некоторые типы белков, олигосахариды, глютен и т. д.).

Производство мучных кондитерских изделий в разрезе основных категорий, занимает 42,2 % от общего объема производства, уступая шоколаду и сахаристым кондитерским изделиям [4]. Геополитические факторы в 2022–2023 г. сыграли на пользу отрасли (рисунок 1). По оценкам Busines Stat, в 2023 г. увеличилось производство всех видов кондитерских изделий в России на 2,3 % и составило 4 млн. т. [5].

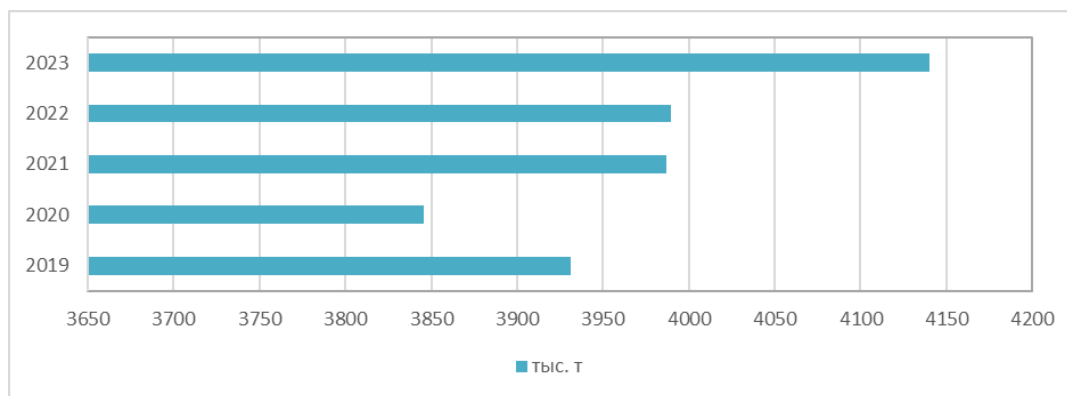


Рисунок 1 – Динамика производства кондитерских изделий с 2019 г. по 2023 г. [5]

Figure 1 – Dynamics of confectionery production from 2019 to 2023

Кексы занимают особое место среди мучных кондитерских изделий. Их доля составляет около 7–12 %, то есть практически 1/10 от всего объема производства [6]. Особенностью технологии кекса является введение в масляную смесь взбитых яиц и муки в три этапа. Данная группа кондитерских изделий не доступна потребителям, страдающим ПА на белок куриного яйца. Яичные продукты в мучных кондитерских изделиях выполняют важную структурообразующую функцию. Поэтому технология изготовления продукции без яиц требует введения эффективного альтернативного компонента, придающего готовому продукту рыхлую и воздушную текстуру.

Согласно научным исследованиям, в качестве такого компонента могут быть рассмотрены семена льна *Linum usitatissimum* L.

Семена льна являются источником альфа-линолевой кислоты, высококачественного протеина, фенольных соединений, пищевых волокон и минеральных веществ [7–9]. Входящий в состав семян льна белково-полисахаридный комплекс обладает высокими связующими свойствами. В состав полисахаридов входят нейтральные и кислые фракции. Высокими вязкостными характеристиками дисперсий обладают льняные слизи с повышенным содержанием нейтральной фракции [10].

Ранее было исследовано влияние различных сортов семян льна на реологию теста, которое показало возможность их использования в качестве структурообразователя [11].

Известна технология кекса (маффина), в которой яичные компоненты заменяли на льняной компонент в количестве 2–4 % от массы [12]. Кекс обладал повышенной пищевой и биологической ценностью и пониженной калорийностью.

В работе Сулима Я. В., Макарова Л. Г. [13] было установлено, что с увеличением процента замены меланжа на льняную муку повышается стабильность взбитой объемной массы с течением времени. При этом упек выпеченных полуфабрикатов снижался. При замене 100 % меланжа на льняную муку продукция имела низкие потребительские характеристики: мякиш изделий имел плотную, излишне мелкопористую текстуру.

Из анализа литературных источников можно сделать вывод, что повышение влажности теста прямо пропорционально связано с увеличением содержания доли льняной муки в рецептуре изделий соответственно. Это связано с тем, что водосвязывающая способность льняной муки превосходит другие виды муки в 6–8 раз [14]. Стоит отметить, что в основном льняную муку или льняное семя используют как сырье для обогащения и частичной замены пшеничной муки в безглютеновых изделиях. Влияние белково-полисахаридного комплекса семян льна на качество конечного продукта как структурообразователя при полном исключении яиц – еще недостаточно изученная область.

Для того чтобы осуществить полную замену яичного компонента на семена льна в составе кексов, требуется поиск технологических решений и методов обработки исходного сырья.

Цель работы – разработать технологию специализированного кекса для людей с пищевой аллергией на белок куриного яйца.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- ✓ определение влияния семени льна на органолептические, физико-химические свойства готовых изделий;
- ✓ разработка рецептуры кекса с заменой куриного яйца на семена льна;
- ✓ оценка пищевой и энергетической ценности готового изделия.

Объектами исследования являлись мучные кондитерские изделия:

- кекс «Столичный», изготовленный по рецептуре № 83 сборника рецептов кондитерских и булочных изделий для предприятий общественного питания – 1983 г. (контроль);
- кекс, выработанный с полной заменой яичных продуктов на суспензию из семян льна, в том числе:
 - 1) с использованием суспензии льняной муки и воды в соотношении 1:2 (образец №1);
 - 2) с использованием суспензии льняной муки и воды в соотношении 1:3 (образец № 2).

МЕТОДЫ

Исследования проводились в лабораториях Высшей школы биотехнологий и пищевых производств Санкт-Петербургского Политехнического университета. Результаты измерений обрабатывали методами статистического анализа, абсолютная погрешность результатов измерений не превышала 0,05 %, доверительная вероятность составляла $P = 0,95$.

Суспензии из семян льна готовили следующим образом: семена льна измельчали на мельнице в течение 3–5 минут до среднего помола (размер частиц 2 мм). Далее полученную муку замачивали водой (40 °С) в соотношениях 1:2 и 1:3 в течение 20 минут. В готовые суспензии добавляли сахар и взбивали с помощью блендера в течение 5 минут, затем постепенно вводили пшеничную муку с аммонием и с растительным маслом, аккуратно перемешивая.

Технология приготовления контрольного образца соответствовала рецептуре кекса «Столичный». Размягченное сливочное масло взбивали, затем добавляли сахарный песок и продолжали взбивание, постепенно вливая меланж. К взбитой массе добавляли эссенцию, аммоний и соль, тщательно перемешивали, добавляли муку и замешивали тесто.

Оценку показателей качества готовых изделий осуществляли, используя стандартные методики: содержание влаги по ГОСТ 5900, щелочность по ГОСТ 5898, пористость по ГОСТ 5669, массовую долю сахара (по сахарозе) по ГОСТ 5903, массовую долю жира по ГОСТ 31902, массовую долю золы, не растворимой в растворе соляной кислоты массовой долей 10 % по ГОСТ 5901, плотность готового кекса по ГОСТ 15810, удельный объем определяли согласно методике, описанной у Пашенко Л.П. и Савина Т.В. [15].

Органолептические показатели кексов определяли по разработанной системе дескрипторов, включающей в себя характеристику поверхности, вида на изломе, вкуса, запаха, цвета и эластичности согласно ГОСТ 31986.

Пищевую ценность определяли расчетным методом [16].

Характеристика семян льна приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Пищевая и энергетическая ценность семян льна «Компас Здоровья» на 100 г

Table 1 – Nutritional and energy value of flax seeds "Compass of Health" per 100 g

Белки, г	Жиры, г	Углеводы, г	Пищевые волокна, г	Энергетическая ценность, Ккал
18	42	2	27	568

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Рецептуры кекса «Столичного» (контроль) и двухопытных образцов с заменой яичных продуктов на суспензию из семян льна представлены в таблице 2.

Учитывая свойства белково-полисахаридного комплекса суспензии из семян льна, был подобран двухстадийный режим тепловой обработки, включающий на первом этапе – выпекание при 150 °С в течение 30 минут и на втором этапе – 180 °С в течение 60 минут до готовности.

Использование традиционного одностадийного режима выпекания (180 °С в течение 30 мин) приводило к образованию на поверхности продукта во время выпекания плотной карамелизированной корочки, препятствующей выходу паров воды наружу, и как следствие, повышенной влажности готового продукта и непропеку.

Применение на первом этапе пониженной температуры (150 °С) позволяет избежать карамелизации сахарозы.

ТЕХНОЛОГИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО КЕКСА ДЛЯ ЛЮДЕЙ С ПИЩЕВОЙ АЛЛЕРГИЕЙ НА КУРИНЫЙ БЕЛОК

Таблица 2 – Рецепт кексов с полной заменой яичных продуктов на суспензию из семян льна

Table 2 – The recipe of cupcakes with a complete replacement of egg products with a suspension of flax seeds

Сырье	Массовая доля сухих веществ, %	Расход сырья на 10 кг готовых изделий, г					
		Контроль		Образец № 1		Образец № 2	
		В натуре	В сухих веществах	В натуре	В сухих веществах	В натуре	В сухих веществах
Мука пшеничная высшего сорта	85,50	3418,1	2922,5	3515	3005,3	3515	3005,3
Льняная суспензия 1:2	66,73	–	–	7200	4804,6	–	–
Льняная суспензия 1:3	75,62	–	–	–	–	7200	5444,6
Сахар-песок	99,85	2564,0	2560,3	2535	2531,2	2535	2531,2
Масло сливочное	84,00	2563,9	2153,7	–	–	–	–
Масло растительное	99,9	–	–	390	389,6	390	389,6
Меланж	27,00	2050,0	553,5	–	–	–	–
Соль	96,50	10,2	9,8	7	6,8	7	6,8
Эссенция	0,00	8,6	0,0	–	–	–	–
Аммоний углекислый	0,00	8,6	0,0	8,6	0,0	8,6	0,0
Итого	–	10623,4	8200,0	13655,5	10 737,5	13655,5	11377,7
Выход	88,00	10000,0	8200,0	10000,0	10308,0	10000,0	10922,6

Технологическая схема производства кекса с использованием суспензии льняной муки и воды в соотношении 1:3 (образец № 2), представлена на рисунке 1.

В экспериментальных и контрольном образцах кексов определяли органолептические и физико-химические показатели.

Оценка органолептических показателей представлена на рисунке 2 в виде профилограммы. Обработка полученных результатов проводилась с учетом коэффициентов весомости.

Как видно из профилограммы (рис. 2), внесение льняной суспензии (1:3) в рецептуру кекса не оказы-

вает существенного влияния на органолептические показатели.

Внесение льняной суспензии (1:2) в рецептуру кекса ухудшает его эластичность, он становится более плотным и менее пористым, что отмечалось экспертной комиссией.

Так, у опытного образца № 2, средний оценочный балл составил 4,8, что на 0,2 балла меньше, чем у контрольного.

Данная оценка обусловлена более темным цветом мякиша. Для коррекции показателя достаточно добавить в рецептуру какао-порошок.

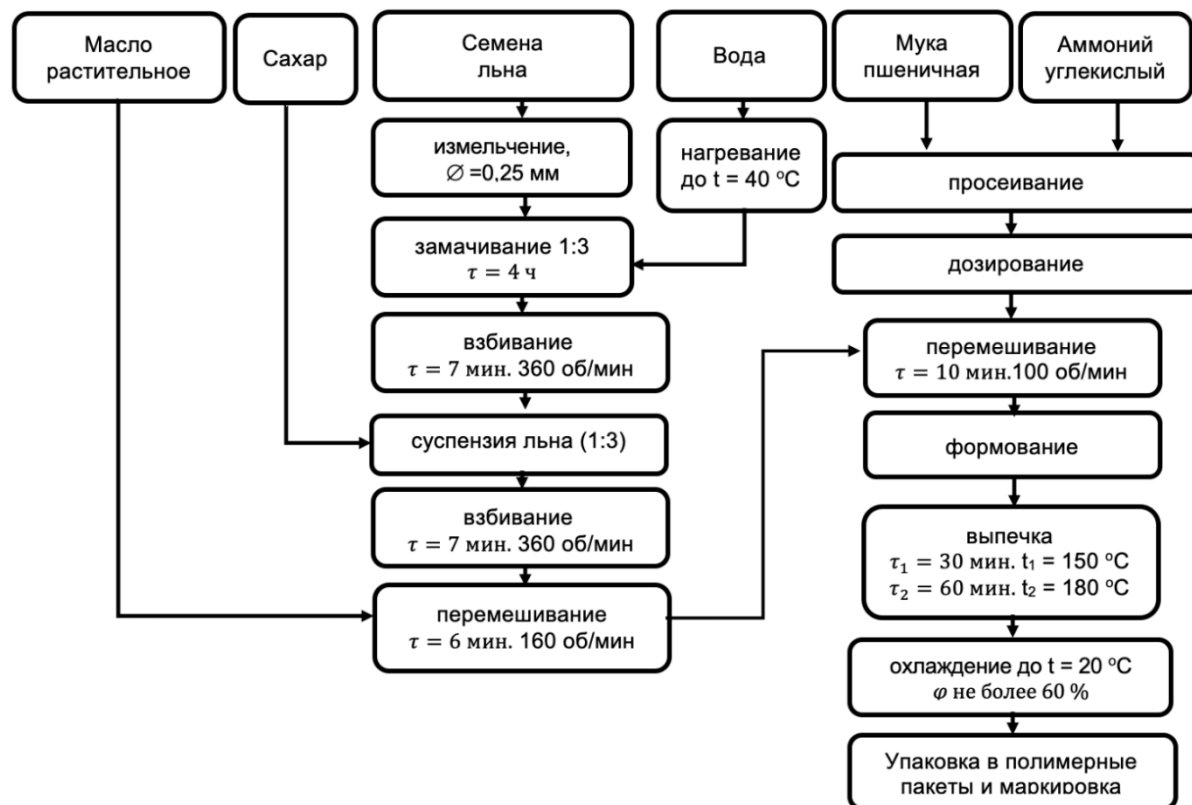


Рисунок 1 – Технологическая схема производства кекса, выработанного с заменой яичных продуктов (1:3)

Figure 1 – Technological scheme of production of cake made with replacement of egg products (1:3)

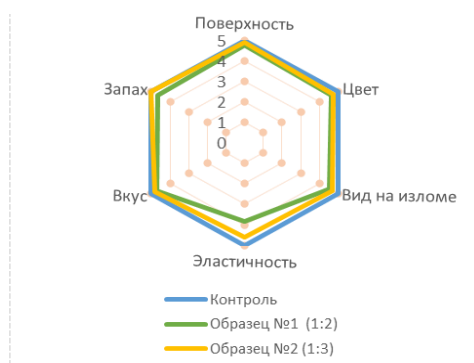


Рисунок 2 – Профиллограмма органолептической оценки разработанных кексов

Figure 2 – Profile of organoleptic evaluation of developed cupcakes

Внешний вид лучшего, по мнению экспертной комиссии, опытного образца № 2 представлен на рисунке 3.

Органолептическая оценка кексов во многом зависит от физико-химических показателей, таких как влажность, пористость, плотность и удельный объем.

Таблица 3 – Физико-химические показатели качества готовых изделий

Table 3 – Structure-forming quality indicators of finished products

	Контроль	Образец № 1	Образец № 2
Влажность, %	18,0 ± 0,45	20,17 ± 0,42	24,32 ± 0,33
Щелочность, градусы	1,20 ± 0,07	0,60 ± 0,07	0,60 ± 0,09
Плотность, г/см ³	0,65 ± 0,01	0,83 ± 0,01	0,53 ± 0,01
Пористость, %	45,56 ± 1,44	35,6 ± 1,95	52,87 ± 2,5
Удельный объем, см ³ /г	1,44 ± 0,01	0,98 ± 0,06	1,87 ± 0,01
Массовая доля сахара (по сахарозе), %	13,5 ± 1,07	20,5 ± 1,15	23,8 ± 1,10
Массовая доля жира, %	13,2 ± 0,75	16,1 ± 0,92	20,3 ± 0,85
Массовая доля золы, не растворимой в растворе соляной кислоты массовой долей 10 %, %	0,072 ± 0,16	0,076 ± 1,01	0,080 ± 0,23

Из таблицы 3 видно, что влажность кекса при использовании суспензии льняной муки в соотношениях 1:2 и 1:3 выше, чем в контрольном образце. Это связано с повышенным содержанием воды в суспензиях на 2,17 % и 6,32 % соответственно. Данное различие объясняется тем, что полисахаридный комплекс льна обладает более высокой водоудерживающей способностью по сравнению с пшеничной мукой.

Во всех экспериментальных образцах зафиксировано снижение щелочности по сравнению с контролем почти в 2 раза. Это объясняется заменой сливочного масла на растительное, что согласуется с исследованиями Снегиревой Н.В. [17].

Опытный образец № 1 плотнее 27 % и на 21,9 % менее пористый по сравнению с контролем, что объясняется более плотной структурой льняного геля. Опытный образец № 2, напротив, оказался менее



Рисунок 3 – Внешний и вид на разрезе наилучшего по органолептическим свойствам опытного образца № 2

Figure 3 – External and cross-sectional view of the best experimental sample in terms of organoleptic properties No. 2

Определение данных показателей позволяет направленно вести технологический процесс с целью получения продукта с заданными характеристиками. Результаты физико-химических исследований представлены в таблице 3.

плотным на 18,5 % и более пористым на 16 %, вероятно, из-за большего содержания воды, участвующей в парообразовании при выпечке.

Содержание сахаров и жира в опытных образцах было выше, чем в контроле. Указанные изменения обусловлены наличием в льняной муке значительного количества водорастворимых полисахаридов (15–30 %) и липидной фракции (35–45 %), преимущественно представленной полиненасыщенными жирными кислотами [10].

При разработке рецептуры кекса основным критерием являлось создание устойчивой пористой текстуры, свойственной данной группе изделий. Этим требованиям отвечал образец № 2.

В таблице 4 приведены результаты сравнительного анализа пищевой и энергетической ценности кекса контрольного и экспериментального образца № 2.

Таблица 4 – Расчет пищевой и энергетической ценностей на 100 г продукта

Table 4 – Calculation of nutritional and energy values per 100 g of product

Показатели	Норма суточного потребления в соответствии с МР 2.3.1.0253-2021	Контрольный образец	Степень удовлетворения суточной потребности в пищевых веществах, % (от РСР)	Образец № 2	Степень удовлетворения суточной потребности в пищевых веществах, % (от РСР)
Белки, г	67*–84	5	7,46*–5,95 %	7	10,45*–8,33 %
Жиры, г	57*–80	18	31,58*–22,50 %	9	15,80*–11,25 %
Углеводы, г	238*–336	39	16,38*–11,61 %	42	17,65*–12,5 %
Пищевые волокна, г	20–25	1	5,0*–4,0 %	6	30,0*–24,0 %
Энергетическая ценность, ккал	1700–2400	341	20,06*–14,21 %	292	17,18*–12,17 %

*первая цифра – женщины, вторая – мужчины

ТЕХНОЛОГИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО КЕКСА ДЛЯ ЛЮДЕЙ С ПИЩЕВОЙ АЛЛЕРГИЕЙ НА КУРИНЫЙ БЕЛОК

Содержание жиров в опытном образце почти в два раза меньше, чем в контрольном. Такая разница обусловлена наличием в классической рецептуре кекса большого количества маргарина. Как известно, чрезмерное употребление маргарина приводит к развитию сердечно-сосудистых заболеваний. Содержание белков и углеводов увеличилось за счет добавления льняной суспензии (1:3) на 2 г и 3 г соответственно. Энергетическая ценность образца № 2 по сравнению с контрольным снизилась на 14, 4 % за счет замены маргарина на растительное масло.

Внесение льняной суспензии в рецептуру экспериментального образца увеличивает содержание пищевых волокон на 24 % от рекомендуемой нормы суточного потребления, что позволяет рекомендовать разработанный кекс как функциональный продукт.

ВЫВОДЫ

Разработанная технология специализированного кекса для людей с пищевой аллергией на белок куриного яйца позволяет получать изделия с высокими потребительскими свойствами. За счет внесения льняного компонента разработанный кекс может быть рекомендован в качестве продукта здорового (функционального) питания, что позволит расширить ассортимент мучных кондитерских изделий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. FREE FROM: НОВАЯ АЛЬТЕРНАТИВНАЯ КАТЕГОРИЯ. URL: <https://hydrosol.de/ru/free-from/> (дата обращения: 15.04.2024).
2. Печуров Д.В., Тяжева А.А., Коновалова А.М., Порецкова Г.Ю. Современные возможности диагностики гастроинтестинальной пищевой аллергии. Практическая медицина. 2020. Том 18, № 4, С. 57–62.
3. Федотова М.М., Федорова О.С., Коновалова У.В., Камалтынова Е.М., Нагаева Т.А., Огородова Л.М. Пищевая аллергия к куриному яйцу: обзор современных исследований. Бюллетень сибирской медицины. 2018, Т. 17 (2). С. 156–166.
4. Иванов А. Российский продовольственный рынок. Обзор российского рынка кондитерских изделий, 2024. № 1. URL: <https://foodmarket.spb.ru/archive/2024/222980/222984/> (дата обращения: 15.04.2024).
5. Анализ рынка кондитерских изделий в России в 2019–2023 гг., прогноз на 2024–2028 гг. Структура розничной торговли. URL: <https://businessstat.ru/catalog/id9147/> (дата обращения: 15.04.2024).
6. Пономарёв В.И., Петрова Я.С., Снегирева Н.В. Использование растительного сырья в мучных кондитерских изделиях // Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения. 2020. С. 43–51.
7. Omran A.A., Ibrahim O.S., Mohamed Z.E.O.M. Quality characteristics of biscuit prepared from wheat and flaxseed flour // Advances in Food Sciences. 2016. Т. 38. № 4. С. 129–138.
8. Oliveira D. [et al.]. The Improved Quality of Gluten-Free Bread Due to the Use of Flaxseed Oil Cake: A Comprehensive Study Evaluating Nutritional Value, Technological Properties, and Sensory Quality // Foods. 2023. Т. 12. № 23. С. 4320.
9. Боклов Д.О., Малинкин А.Д., Бессонов В.В., Байра-

рин Е.К. Пищевые волокна и заболевания желудочно-кишечного тракта // Вопросы питания. 2015. Т. 84, № 52. С. 19–20.

10. Киреева, М.С. Реология бездрожжевого бисквитного теста на основе полножирной муки из семян льна различных сортов / М.С. Киреева, Г.В. Алексеев // Хлебопродукты. 2014. № 1. С. 52–55. EDN RXEZUP.

11. Barbary O.M., Al-Sohaimy S.A., El-Saadani M.A., Zeitoun A.M.A. Extraction, composition and physicochemical properties of flaxseed mucilage // J. Adv. Agric. Rec. 2009. Vol. 14(3). P. 605–621.

12. Патент № 2683636 С1 Российская Федерация, МПК A21D 13/80, A21D 2/36. кекс : № 2018107856 : заявл. 02.03.2018 : опубл. 29.03.2019 / И.Э. Миневич, Л.Л. Осипова, В.А. Зубцов, Г.И. Левкина ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный центр лубяных культур" (ФГБНУ ФНЦ ЛК). EDN MDHFTV.

13. Сулимма Я.В., Макарова Л.Г. Влияние льняной муки в производстве изделий из бисквитного теста // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2011. № 4. С. 150–154.

14. Рензеева Т.В., Тубольцева А.С., Рензеев А.О. Мука различных видов в технологии мучных кондитерских изделий // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 2. С. 407–416.

15. Пашенко, Л.П. Практикум по технологии хлеба, кондитерских и макаронных изделий / Л.П. Пашенко, Т.В. Санина, Л.И. Столярова. Москва : КолосС, 2013. 215 с.

16. Типсина Н.Н. Расчет пищевой ценности хлебобулочных и кондитерских изделий: методические указания / Н.Н. Типсина, Т.Ф. Варфоломеева ; Краснояр. гос. аграр. ун-т. Красноярск, 2016. 41 с.

17. Снегирева Н.В. Использование растительного сырья в производстве мучных кондитерских изделий / Н.В. Снегирева // Вестник КрасГАУ. 2021. № 3(168). С. 144–149. DOI 10.36718/1819-4036-2021-3-144-149.

Информация об авторах

М. С. Киреева – кандидат технических наук, старший преподаватель «Высшей школы биотехнологий и пищевых производств» Санкт-Петербургского Политехнического университета Петра Великого.

Е. В. Трухина – кандидат технических наук, доцент «Высшей школы биотехнологий и пищевых производств» Санкт-Петербургского Политехнического университета Петра Великого.

Е. А. Харитоновна – студент «Высшей школы биотехнологий и пищевых производств» Санкт-Петербургского Политехнического университета Петра Великого.

Information about the authors

M.S. Kireeva - Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Graduate School of Biotechnology and food Sciences Peter The Great St. Petersburg Polytechnic University.

E.V. Trukhina - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Graduate School of Biotechnology and food Sciences Peter The Great St. Petersburg Polytechnic University.

E.A. Haritonova - Student of the of the Graduate School of Biotechnology and food Sciences Peter The Great St. Petersburg Polytechnic University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 23 мая 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 23 May 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 637.3

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.016



КИСЛОМОЛОЧНЫЙ НАПИТОК С ТРИТЕРПЕНСОДЕРЖАЩИМ СЫРЬЕМ

Ольга Николаевна Мусина ¹, Дарья Андреевна Усатюк ²,
Нина Ивановна Бондаренко ³

¹ ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», г. Барнаул, Россия,

^{2,3} ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробιοтехнологий», г. Барнаул, Россия,

¹ musinaolga@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4938-8136>

² d_usatyuk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7852-1680>

³ bni-22@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9045-6834>

Аннотация. Исследование направлено на разработку технологии производства функционального кисломолочного напитка, обогащенного тритерпеновым соединением – бетулином, выделяемым из бересты березы. Цель работы – повышение эффективности переработки молока за счет адаптации бетулина к условиям молочнокислого и смешанного брожения, а также определение оптимальных технологических параметров для создания продукта с улучшенными органолептическими свойствами и повышенной хранимостпособностью. В рамках эксперимента использовали коровье молоко и бетулин (ТУ 10.89.15-003-32227225-2024). Изучено влияние различных доз бетулина (0,003 %, 0,008 %, 0,013 %) на динамику активной кислотности, консистенцию, вкусоароматические характеристики и стабильность продукта при хранении. Для сквашивания применяли две заквасочные культуры: YO-428L (смешанное брожение, включает *Saccharomyces cerevisiae*) и LAT BY-T (молочнокислое брожение, *Streptococcus thermophilus* и *Lactobacillus bulgaricus*). Результаты показали, что бетулин оказывает стабилизирующее влияние на структуру кисломолочного геля, предотвращая синерезис и способствуя формированию однородной вязкой консистенции. Наибольший эффект наблюдался при использовании йогуртовой закваски LAT BY-T: образцы с дозой бетулина 0,013 % характеризовались плотной текстурой без отделения сыворотки, выраженным кисломолочным вкусом с легким ароматом бересты. Активная кислотность в таких образцах оставалась стабильной в течение 16 суток хранения, что свидетельствует о замедлении пост-кислотной ферментации. При смешанном брожении (закваска YO-428L) выявлено незначительное ингибирующее действие бетулина на активность дрожжей, однако органолептические показатели уступали образцам с LAT BY-T. Органолептическая оценка, проведенная с участием экспертов, подтвердила, что напитки с максимальной дозой бетулина (0,013 %) получили наивысшие баллы за счет сбалансированного вкуса и улучшенной текстуры. Практическая значимость исследования заключается в разработке нормативно-технических документов для напитков «Пересвет» и «Радость», готовых к внедрению в производство. Полученные данные расширяют возможности использования растительного тритерпеносодержащего сырья в молочной промышленности для создания функциональных продуктов, обогащенных биологически активными веществами. Результаты работы могут быть применены для оптимизации рецептур, повышения конкурентоспособности продукции и удовлетворения растущего спроса на здоровое питание.

Ключевые слова: бетулин, тритерпеновые соединения, кисломолочный напиток, комбинированный продукт, заквасочные культуры, активная кислотность, органолептические показатели, технологический процесс, хранимостпособность.

Для цитирования: Мусина О. Н., Усатюк Д. А., Бондаренко Н. И. Кисломолочный напиток с тритерпеносодержащим сырьем // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 98–104. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.016. EDN: <https://elibrary.ru/CZILOO>.

Original article

FERMENTED MILK DRINK WITH TRITERPENE-CONTAINING RAW MATERIALS

Olga N. Musina ¹, Daria A. Usatyuk ², Nina I. Bondarenko ³

¹ Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia,

^{2,3} Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnologies, Barnaul, Russia

¹ musinaolga@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4938-8136>

² d_usatyuk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7852-1680>

³ bni-22@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9045-6834>

Abstract. The study focuses on developing a technology for producing a functional fermented milk drink enriched with betulin, a triterpene compound derived from birch bark. The aim was to enhance milk processing efficiency by adapting betulin

© Мусина О. Н., Усатюк Д. А., Бондаренко Н. И., 2025

to lactic acid and mixed fermentation conditions, as well as to determine optimal technological parameters for improving organoleptic properties and storage stability. The experiment used cow's milk and betulin (TU 10.89.15-003-32227225-2024). The influence of betulin doses (0,003%, 0,008%, 0,013%) on active acidity dynamics, consistency, flavor, and storage stability was analyzed. Two starter cultures were tested: YO-428L (mixed fermentation, including *Saccharomyces cerevisiae*) and LAT BY-T (*Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus bulgaricus*). Results demonstrated that betulin stabilizes the fermented milk gel structure, preventing syneresis and ensuring homogeneous viscosity. The most significant improvement was observed with the LAT BY-T starter: samples containing 0,013% betulin exhibited a dense texture without whey separation, a pronounced dairy flavor, and a subtle birch aroma. Active acidity remained stable during 16 days of storage, indicating slowed post-acidification. In mixed fermentation (YO-428L), betulin slightly inhibited yeast activity, yet organoleptic scores were lower compared to LAT BY-T. Sensory evaluation confirmed that samples with 0,013% betulin received the highest scores due to balanced taste and enhanced texture. The practical outcome includes the development of technical standards for the drinks "Peresvet" and "Radost." The findings highlight the potential of plant-based additives in dairy technology to create functional products enriched with bioactive compounds. This research contributes to recipe optimization, competitive product development, and meeting the demand for healthier food options.

Keywords: betulin, triterpene compounds, fermented milk drink, combined product, starter cultures, active acidity, organoleptic characteristics, technological process, shelf life.

Forcitation: Musina, O.N., Usatiuk, D.A. & Bondarenko, N.I. (2025). Fermented milk drink with triterpene-containing raw materials. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 98-104. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.016. EDN: <https://elibrary.ru/CZIL00>.

ВВЕДЕНИЕ

Современная пищевая промышленность сталкивается с возрастающим спросом на продукты, сочетающие высокую пищевую ценность, функциональные свойства и соответствие принципам здорового образа жизни. Особую актуальность приобретает разработка комбинированных молочных продуктов, обогащенных биологически активными компонентами растительного происхождения.

Технология кисломолочных напитков не предусматривает отделения сыворотки, что позволяет полностью использовать все исходные компоненты молока, а также дает возможность эффективно корректировать состав готового продукта. В результате биохимических процессов, протекающих во время сквашивания, из белков, жиров и углеводов молока образуются соединения в легко усваиваемой организмом человека форме. Пищевая и биологическая ценность кисломолочных продуктов превышает аналогичные показатели цельномолочной продукции. Различают продукты молочнокислого брожения, где бактерии расщепляют лактозу с образованием молочной кислоты (творог, сметана, йогурт, ряженка, простокваша, снежок) и продукты смешанного брожения, где наряду с молочной кислотой образуется углекислый газ, спирт и ряд летучих кислот (кефир, кумыс). Ассортимент кисломолочных продуктов достаточно широк, и в зависимости от типа брожения возможно направленное формирование различных потребительских свойств [1, 2].

Задачами государственной важности является обеспечение сбалансированного питания населения, профилактика алиментарнозависимых заболеваний, увеличение продолжительности и повышение качества жизни за счет развития производства обогащенных продуктов и проведения соответствующих научных исследований. Актуальность этих задач подтверждается в распоряжении Правительства РФ №1364-р «Об утверждении Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года». Мировой опыт также свидетельствует о растущем рынке функциональных молочных продуктов: по некоторым оценкам, его объем к 2030 году превысит 150 млрд. долларов, при ежегодном росте 6,8 % [3].

Создание комбинированных молочных продуктов – сравнительно новое направление в пищевой промышленности. Такими выдающимися учеными,

как А.Г. Храмцов, И.А. Рогов, Н.Н. Липатов и другими, теоретически обоснована и практически доказана эффективность данного направления. В настоящее время широко ведутся исследования по возможности создания поликомпонентных молочных продуктов, широко используется комбинирование сырья различного происхождения: сиропы и экстракты трав, рыбные, овощные, фруктовые, плодовые и ягодные полуфабрикаты, растительный белок и жир, пищевые волокна, кальций, витамины и многое другое [3, 4].

Перспективным в создании новых пищевых продуктов модифицированного состава и свойств является направление по комбинированию молочного и растительного сырья. Данная комбинация предоставляет возможность взаимного обогащения получаемых продуктов эссенциальными ингредиентами.

Наряду с уже достигнутыми результатами в данном направлении необходим дальнейший поиск оригинальных подходов в создании комбинированных продуктов, гарантирующих полное использование потенциала сырья и позволяющих повысить качество готовой продукции. В настоящее время наблюдается рост популярности обогащенных продуктов. Производители отмечают рост потребительского спроса на такие молочные продукты, как йогурты с различными обогащающими добавками [5].

В рамках выполнения НИР № 0534-2021-0010 авторским коллективом научно обоснована возможность получения обогащенного кисломолочного напитка с отличными органолептическими характеристиками и повышенной за счет использования тритерпенодержавшего сырья хранимостпособностью. Сотрудниками лаборатории научно-прикладных и технологических разработок «Сибирского НИИ сыроделия» ФАНЦА в качестве перспективного растительного ингредиента для комбинации с молочным сырьем выбрано тритерпенодержавшее сырье в виде бетулина.

Бетулин является природным тритерпеном, который выделяют из коры берез – бересты [6]. В составе тритерпенов бересты преобладает бетулин.

Бетулин известен своими целебными свойствами давно: он был открыт Т.Е. Ловицем (преемником М.В. Ломоносова) в 1778г., но в последние годы в мире наблюдается рост интереса к нему [7, 8]. На текущий момент доказанными считаются следующие его свойства: антисептическое; ранозаживляющее; гепатопротекторное; желчегонное; антиокси-

дантиное; иммуностимулирующее; противоопухолевое; противовирусная активность; ингибирование развития микробактерий туберкулеза; противогрибковое действие; учеными США и Японии доказана противомеланомная активность бетулина и его производных; при включении бетулина в крем он продемонстрировал солнцезащитное действие (UVA-UVB-фильтр); ингибирование фермента эластазы, ответственного за потерю упругости эластичными волокнами кожи; стимулирует синтез коллагена и останавливает воспалительные процессы в коже, защищая ее от воздействия протеинкиназ; отбеливает кожу за счет тормозящего действия на меланогенез [9].

Введение в продукты питания экстракта бересты позволит создать функциональные продукты питания и использовать их: в рационе питания здоровых людей, людей, проживающих и работающих в тяжелых условиях Крайнего Севера, высокогорья, пустынь, в гепатогенных зонах, на вредных производствах; для снижения последствий вредных привычек; для лиц высокого профессионального риска в целях снижения уровня профессиональной генетической патологии (антимутаген); для спортсменов в качестве питания без каких-либо ограничений, так как экстракт не обладает допинговой активностью [10].

В настоящее время бетулин включен в список биологически активных добавок к пище, рекомендованных для оптимизации питания и улучшения здоровья населения, уровень потребления которой составляет от 40 до 80 мг/сутки [11–13]. Сочетание кисломолочной основы с бетулином позволит создать обогащенный пищевой продукт, способный восполнить дефицит биологически активных веществ в современном питании.

Такие инновации не только отвечают запросам потребителей, ориентированных на профилактику алиментарнозависимых заболеваний и улучшение качества жизни, но и способствуют устойчивому развитию отрасли за счет использования возобновляемых ресурсов. В этом контексте тритерпенсодержащее сырье, в частности бетулин, выделяемый из бересты березы, представляет значительный интерес как перспективный ингредиент для создания функциональных продуктов. Его уникальные свойства открывают возможности для обогащения молочных продуктов, традиционно являющихся основой рациона населения.

Интеграция растительных компонентов в молочные продукты позволяет решить несколько стратегических задач. Во-первых, это компенсация дефицита эссенциальных веществ в современном питании, обусловленного снижением качества сырья и изменением пищевых привычек. Во-вторых, сокращение использования синтетических добавок (стабилизаторов, консервантов) за счет натуральных аналогов, что соответствует трендам «чистой этикетки» (clean label). В-третьих, создание продуктов с направленным действием – например, для регионов с экстремальными климатическими условиями или для групп риска, подверженных профессиональным заболеваниям. Применение бетулина, уже включенного в реестр биологически активных добавок, становится ключевым элементом такой стратегии. Его сочетание с пробиотическими культурами в кисломолочных напитках способствует взаимному усилению функциональных свойств, обеспечивая синергизм действия пробиотических и биологически активных компонентов.

Цель исследования – повышение эффективности переработки молока путем адаптации тритерпен-

содержащего сырья (бетулина) к условиям молочнокислого брожения и определения оптимальных технологических режимов, что позволит научно обосновать технологию нового комбинированного кисломолочного напитка с улучшенными свойствами.

МЕТОДЫ

Предмет исследования – научное обоснование параметров технологии кисломолочного напитка из натурального коровьего молока с добавлением бетулина, с наличием пробиотических микроорганизмов, без вкусо-ароматических добавок, с отличными органолептическими показателями и повышенной хранимостпособностью.

Исследования проводились на коровьем молоке, соответствующем требованиям ГОСТ 31449. В качестве тритерпенсодержащего сырья использовали экстракт бересты березы «Бетулин» по ТУ 10.89.15-003-32227225-2024 от ООО «Сады Алтая АГРО». «Бетулин» представляет собой комплекс продуктов природного происхождения, преимущественно бетулина и лупинола, а также иных биологически активных веществ, выделенных из бересты березы. Экстракт бересты предназначен для использования при производстве биологически активной добавки к пище и обогащения пищевых продуктов.

Для сквашивания использовались две лиофилизированные и концентрированные заквасочные культуры. Первая заквасочная культура – YO-428L марки «Lactoferm» (Biochems.r.l., Италия). Видовой состав закваски представлен культурами *Streptococcus salivarius subsp. thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* и *Saccharomyces cerevisiae*. Данную закваску производитель рекомендует использовать в технологии мацони, тана и айрана с получением густой консистенции. Вторая заквасочная культура – LAT BY-T марки «Лактина» (Лактина, Болгария). Видовой состав закваски представлен культурами *Streptococcus thermophilus* и *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*. Производитель данную закваску рекомендует использовать в технологии питьевого йогурта с получением в меру вязкой консистенции.

Экспериментальные выработки образцов кисломолочного напитка проводились в емкостях из нержавеющей стали с проведением процесса сквашивания на водяной бане марки БВ-24 (Биомер, Россия). Активная кислотность измерялась поверенным рН-метром «Testo 206» с погрешностью $\pm 0,2$ pH, номер в Государственном реестре средств измерений РФ ФГИС АРШИН 30759-05 (компания «Testo», Германия). Физико-химические показатели напитка определялись по стандартным методикам, органолептические показатели оценивались по 10-балльной шкале в соответствии с ГОСТ 31981-2013 «Йогурты. Общие технические условия». Статистическая обработка данных проведена с помощью *Microsoft Excel* (Microsoft Corporation, США).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В соответствии с данными патента [14] бетулин вводят в количестве от $0,8 \cdot 10^{-3}$ г до $3,5 \cdot 10^{-3}$ г на 1 г жировой составляющей молока или молочного продукта. Принимая во внимание данные патента и предыдущих исследований по выбору дозы бетулина на пастеризованном цельном негомогенизированном коровьем молоке, решено использовать принятые патентом дозы в технологии комбинированного кисломолочного напитка: от $0,8 \cdot 10^{-3}$ г до $3,5 \cdot 10^{-3}$ г с шагом $1,35 \cdot 10^{-3}$ на 1 г жировой составляющей молока.

КИСЛОМОЛОЧНЫЙ НАПИТОК С ТРИТЕРПЕНСОДЕРЖАЩИМ СЫРЬЕМ

Технологический процесс получения кисломолочного напитка с бетулином предусматривает следующие операции (резервуарный способ): приемка и оценка качества сырья; подготовка сырья (очистка, охлаждение, промежуточное хранение); подогрев; внесение бетулина (в сухом виде); пастеризация и охлаждение смеси; заквашивание и сквашивание смеси; перемешивание; розлив; охлаждение.

Изучена возможность осуществления двух типов брожения – смешанного (заквасочная культура YO-428L) и молочнокислого (заквасочная культура LAT BY-T).

Физико-химические показатели молока-сырья: массовая доля жира 3,60 %; массовая доля белка 3,06 %; сухой обезжиренный молочный остаток 8,26 %; плотность 28,10 г/см³; активная кислотность 6,68 ед. pH; титруемая кислотность 17°T. В расчетах использована массовая доля жира 3,60 %, что соответствует 3,60 г жира в 100 мл исследуемого молока. Данные расчетов, необходимых для составления смеси в данном опыте, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Экспериментальные образцы с бетулином и без него

Table 1 – Experimental samples with and without betulin

Образец	Количество бетулина в %	Количество бетулина в г на 1 г жира	Количество бетулина в г на 3,60 г жира (на 100 мл)
Контроль	0	0	0
1	0,003	0,0008	0,0029
2	0,008	0,00215	0,0077
3	0,013	0,0035	0,0126

После внесения бетулина в смесь её подвергли пастеризации при температуре от 85 до 87 °С с выдержкой от 10 до 15 минут и дальнейшим охлаждением до температуры заквашивания (40–42 °С). По достижении оптимальной температуры заквашивания в смесь вносили заранее рассчитанное и подготовленное количество производственной закваски. Скваживание с периодическим перемешиванием во всех образцах продолжалось 4 часа. Далее напиток отправляли на охлаждение и хранение.

На рисунке 1 представлена динамика изменения активной кислотности экспериментальных образцов кисломолочного напитка с различной дозировкой бетулина, напиток получен при смешанном брожении с использованием закваски YO-428L. Установлено, что при увеличении дозы бетулина активная кислотность также оказывается чуть выше на каждом этапе производства (рис. 1). Таким образом, выявлено незначительное ингибирующее влияние бетулина на активность микробиологических процессов при сквашивании и хранении. При этом необходимо отметить, что микробиологический процесс сквашивания молока прошел полностью и необходимая кислотность напитка достигнута. Образцы с бетулином отличались более высокими значениями активной кислотности.

В таблице 2 приведены органолептические характеристики экспериментальных образцов кисломолочного напитка с заквасочной культурой YO-428L. Образцы с бетулином характеризуются более плотной консистенцией и более однородной текстурой, что позволяет судить о положительном влиянии растительного компонента на структуру продукта, его гомогенность и однородность. Вероятно, механизм данных изменений связан со стабилизацией жировых шариков небольших размеров в общем объеме продукта и связыванием

свободной влаги с предотвращением синерезиса.

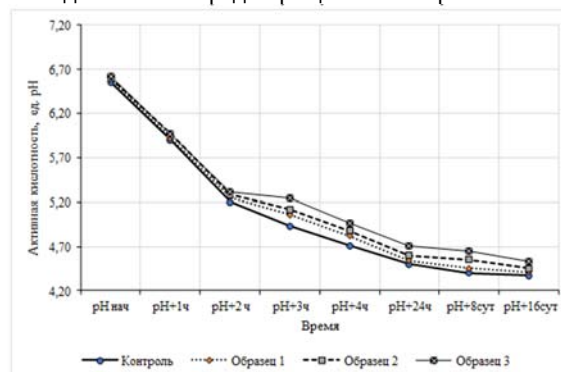


Рисунок 1 – Зависимость активной кислотности кисломолочного напитка от дозы бетулина (заквасочная культура YO-428L)

Figure 1 – Dependence of the active acidity of a fermented milk drink on the dose of betulin (starter culture YO-428L)

Таблица 2 – Органолептические показатели кисломолочного напитка с бетулином и без него (заквасочная культура YO-428L)

Доза бетулина, %	Внешний вид и консистенция	Вкус и запах	Цвет
0 (контроль)	Неоднородная, жидкая, со значительным отделением сыворотки	Кисломолочный, без посторонних привкусов и запахов	Молочно-белый
0,003	Более однородная, чуть плотнее, с отделением сыворотки	Чистый, кисломолочный, освежающий, без посторонних привкусов и запахов	Молочно-белый с незначительными вкраплениями
0,008	Однородная, более плотная, с незначительным отделением сыворотки	Чистый, кисломолочный, без посторонних привкусов и запахов	Молочно-белый с незначительными вкраплениями
0,013	Однородная, плотная, с незначительным отделением сыворотки	Чистый, кисломолочный, с незначительным привкусом и запахом бересты	Молочно-белый с незначительными вкраплениями

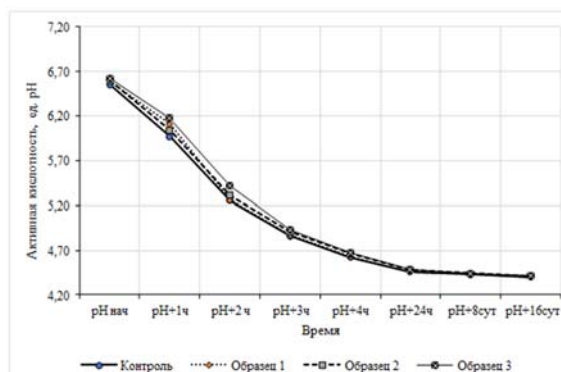


Рисунок 2 – Зависимости активной кислотности кисломолочного напитка от дозы бетулина (заквасочная культура LAT BY-T)

Figure 2 – Dependence of the active acidity of a fermented milk

drink on the dose of betulin (starter culture LAT BY-T)

На рисунке 2 представлена динамика изменения активной кислотности экспериментальных образцов кисломолочного напитка с различной дозировкой бетулина, напиток получен при молочнокислом брожении с использованием закваски LAT BY-T.

Установлено, что динамика снижения активной кислотности образцов с бетулином схожа с динамикой активной кислотности контрольного образца без бетулина (рис. 2). Незначительное расхождение показателей активной кислотности наблюдается в первые часы сквашивания с более низкими показателями активной кислотности контрольного образца. Полученный результат свидетельствует об отсутствии в данном эксперименте ингибирующего влияния бетулина на ход молочнокислого брожения, идущего с достаточным образованием молочной кислоты.

В таблице 3 приведены органолептические характеристики экспериментальных образцов кисломолочного напитка с заквасочной культурой LAT BY-T. В целом, образцы кисломолочного напитка, полученного при помощи молочнокислого брожения, характеризовались вязкой консистенцией и с увеличением дозы бетулина вязкость напитка росла. Бетулин распределяется равномерно по всей массе продукта.

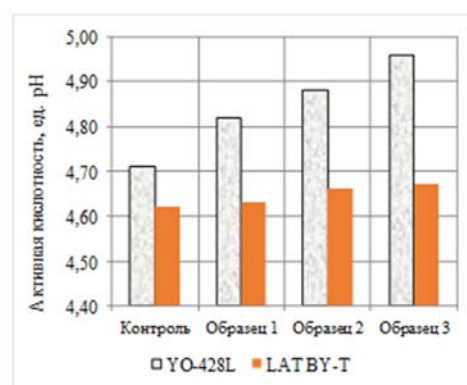
Таблица 3 – Органолептические показатели кисломолочного напитка с бетулином и без него (заквасочная культура LAT BY-T)

Table 3 – Organoleptic parameters of samples of fermented milk drink with and without betulin (starter culture LAT BY-T)

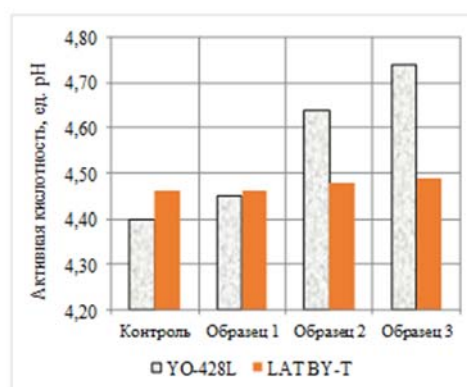
Доза бетулина, %	Внешний вид и консистенция	Вкус и запах	Цвет
0 (контроль)	Однородная, слабо-вязкая, с незначительным отделением сыворотки	Кисломолочный, без посторонних привкусов и запахов	Молочно-белый
0,003	Однородная, в меру вязкая, с незначительным отделением сыворотки	Чистый, кисломолочный, освежающий, без посторонних привкусов и запахов	Молочно-белый с незначительными вкраплениями частичек бетулина
0,008			
0,013	Однородная, вязкая, без отделения сыворотки	Чистый, выраженный кисломолочный, с незначительным привкусом и запахом бесты	Молочно-белый с вкраплениями частичек бетулина

На рисунке 3 приведен график зависимости активной кислотности кисломолочного напитка, полученного при помощи разных заквасок в разные периоды времени.

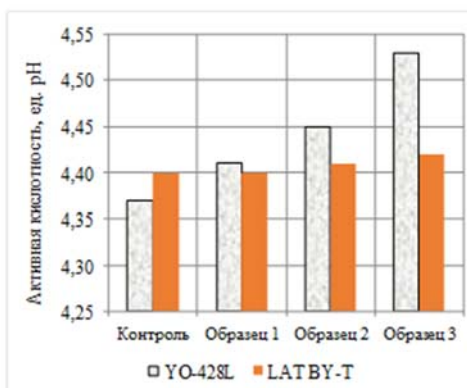
Установлено, что на конец сквашивания (pH+4 часа) кисломолочный напиток типа йогурта с закваской LAT BY-T характеризовался более низким значением pH во всех образцах по сравнению с кисломолочным напитком типа мацони с закваской YO-428L. В готовом продукте (pH+24 часа) активная кислотность в напитке с закваской LAT BY-T во всех образцах (независимо от дозы бетулина) примерно на одном уровне.



pH+4 часа



pH+24 часа



pH+16 суток

Рисунок 3 – Зависимость активной кислотности кисломолочного напитка с двумя видами заквасок в разные периоды времени

Figure 3 – Dependence of the active acidity of a fermented milk drink with two types of starter cultures in different time periods

В образцах с закваской YO-428L с повышенной дозой бетулина активная кислотность выше по сравнению с другими образцами. На конец срока хранения (pH+16 суток) кислотность напитка с закваской LAT BY-T с бетулином ниже активной кислотности напитка с закваской YO-428L с бетулином. Данный результат связан с положительным влиянием бетулина на хранимостепособность кисломолочного напитка типа йогурта с закваской LAT BY-T. Важно отметить более стабильные и приближенные результаты по активной кислот-

ности образцов с бетулином к контрольному образцу в технологии с закваской LAT BY-T. В технологии кисломолочного напитка типа мацони с закваской YO-428L данные по активной кислотности образцов с бетулином нестабильны и выше контрольного образца.

Для оценки органолептических показателей экспериментальных образцов кисломолочного напитка с различными заквасочными микроорганизмами и разной дозой бетулина проведена расширенная дегустация с участием представителей ООО «Сады Алтая Агро» (производитель «Бетулина»).

На рисунке 4 приведены данные органолептической оценки экспериментальных образцов напитка. Наибольшую суммарную оценку в баллах получили образцы с максимальной дозой бетулина, полученные при помощи закваски LAT BY-T, используемой для производства йогурта. Причем отмечена значительная разница между контрольным образцом и образцами с бетулином в данном типе напитка, что свидетельствует о значительном положительном влиянии бетулина на органолептику в напитках типа йогурт.

Образцы с закваской YO-428L с бетулином получили меньшие баллы по сравнению с образцами напитка типа йогурта с бетулином. При суммарной оценке дегустаторы высказали предположение о значительном положительном влиянии бетулина на консистенцию кисломолочного напитка, полученного при помощи разных заквасок.

Установлено, что бетулин способствует связыванию свободной влаги и упрочнению структуры кисломолочного геля в технологии кисломолочных напитков. При использовании йогуртовой закваски отмечена наиболее вязкая и плотная консистенция продукта с более чистым чуть освежающим кисломолочным вкусом, что даёт возможность сделать выбор в пользу йогуртовой закваски LAT BY-T, состав которой представлен культурами *Streptococcus thermophilus* и *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*.

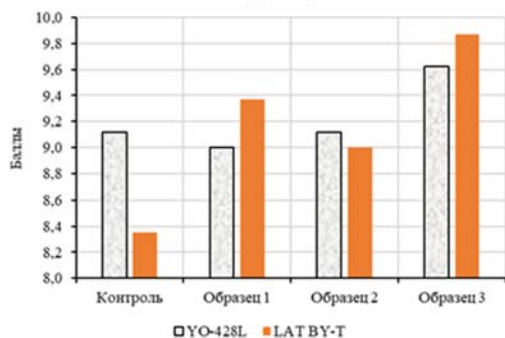


Рисунок 4 – Зависимость суммарной балльной оценки образцов кисломолочных напитков от вида закваски и дозы бетулина

Figure 4 – Graph of the dependence of the total score of experimental samples of fermented milk drinks on the type of starter culture and the dose of betulin

На основе проведенных серий экспериментов, опытных выработок и полученных данных разработана технологическая схема получения комбинированного кисломолочного напитка с этапами производства и температурно-временными режимами.

Результаты НИР использованы в двух нормативно-технических документах: СТО ФГБНУ ФАНЦА-014-2023 «Напиток обогащенный кисломолочный «Пересвет» и СТО ФГБНУ ФАНЦА-016-2024 «Напиток обогащенный кисломолочный «Радость».

Научная новизна работы заключается в получении новых знаний о свойствах бетулина в условиях молочнокислого и смешанного брожения, а также в разработке технологических решений, обеспечивающих создание продукта с улучшенными потребительскими свойствами. Практическая значимость заключается в расширении ассортимента конкурентоспособной продукции, отвечающей запросам рынка здорового питания, и снижении экологической нагрузки за счет использования вторичного растительного сырья (бересты).

Результаты работы формируют основу для дальнейших исследований в области комбинирования молочных и растительных пищевых систем, что соответствует глобальным целям устойчивого развития (ответственное потребление и производство). Так, одна из целей в области устойчивого развития, установленных ООН на период до 2030 года – SDG 12 «Обеспечение перехода к рациональным моделям потребления и производства». Интеграция бетулина в технологию кисломолочных напитков будет способствовать не только укреплению здоровья населения, но и развитию экономически эффективных и экологически безопасных производственных практик.

Полученные данные расширяют возможности использования растительного тритерпеносодержащего сырья в молочной промышленности для создания функциональных продуктов, обогащенных биологически активными веществами. Результаты работы могут быть применены для оптимизации рецептур, повышения конкурентоспособности продукции и удовлетворения растущего спроса на здоровое питание.

ВЫВОДЫ

Научно обоснована перспективность комбинирования с молоком тритерпеносодержащего сырья (бетулина) в технологии кисломолочного напитка.

Исследовано два типа брожения в технологии кисломолочного напитка. Установлено незначительное ингибирующее влияние бетулина на рост активной кислотности образцов с заквасочной микрофлорой, в состав которой входят культуры *Saccharomyces subsp. cerevisiae* (микроскопические грибы из класса сахаромикетов), способствующие спиртовому брожению. Динамика снижения активной кислотности в образцах с заквасочной микрофлорой, включающей болгарскую палочку и термофильный стрептококк, практически идентична независимо от использования бетулина. Отмечено отсутствие ингибирующего влияния бетулина на рост активной кислотности в образцах с йогуртовой закваской.

Установлено положительное влияние бетулина на органолептические характеристики образцов кисломолочного напитка с йогуртовой закваской. Растительный компонент (бетулин) способствует получению однородной вязкой консистенции без отделения сыворотки, а также формированию выраженного кисломолочного вкуса с приятным освежающим ароматом и послевкусием бересты. Образцы с закваской, в состав которой входят культуры *Saccharomyces subsp. cerevisiae*, имеют менее однородную консистенцию с наличием признаков синерезиса, менее выраженный кисломолочный вкус и послевкусие бересты.

Отмечено положительное влияние бетулина на хранимостепособность кисломолочного напитка с заквасочной микрофлорой, состоящей из культур *Streptococcus thermophilus* и *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*. В данных образцах с бетулином

данные по активной кислотности в процессе выработки и холодильного хранения максимально приближены к данным контрольного образца.

Таким образом, подтверждено, что использование бетулина способствует получению комбинированного обогащенного напитка с отличными органолептическими показателями и повышенной хранимостпособностью.

Полученные результаты нашли практическое применение в нормативно-технической документации на кисломолочные напитки «Пересвет» и «Радость».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тёпел А. Химия и физика молока / пер. с нем. под ред. канд. техн. наук, доц. С.А. Фильчаковой. СПб. : Профессия, 2012. 832 с.
2. Тамим А.И., Робинсон Р.К. Йогурты и аналогичные кисломолочные продукты: научные основы и технологии / пер. с англ. под науч. ред. Л.А. Забодаловой. СПб. : Профессия, 2003. 664 с.
3. Мусина О.Н. Современное состояние биотехнологии комбинированных молочных продуктов (обзор). 1. Предпосылки и принципы создания комбинированных молочных продуктов // Хранение и переработка сельхозсырья. 2008. № 3. С. 59–63.
4. Мусина О.Н. Новые молочные продукты для здорового питания // Переработка молока. 2015. № 12 (194). С. 36–41.
5. Гаврилова Н.Б., Щетинин М.П. Технология молока и молочных продуктов: традиции и инновации. М. : КолосС, 2012. 544 с.
6. Глицирризиновая кислота / Г.А. Толстиков [и др.] // Биоорганическая химия. 1997. Т. 23. № 9. С. 691–709.
7. Белякова А.Ю., Погребняк А.В., Погребняк Л.В. Физико-химические и биологические свойства компонентов внешней коры березы // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2 (часть 2). С. 492.
8. Ботаника. Энциклопедия «Все растения мира»: пер. с англ. / Под ред. Д. Григорьева и др. М. : Könemann, 2006. 1020 с.
9. Физико-химические и биологические свойства компонентов внешней коры березы // Современные проблемы науки и образования (сетевое издание). URL: https://science-education.ru/ru/article/view?id=22657&ysclid=I5278g2ywi580405938&utm_source=yandex.ru&utm_medium=organic&utm_campaign=yandex.ru&utm_referrer=yandex.ru. (дата обращения 08.05.2025).
10. Бетулиносодержащий экстракт бересты как функциональный ингредиент для обогащения продуктов питания с целью профилактики заболеваний // Birch World. URL: <https://birchworld.ru/issledovaniya-betulina/ispolzovanie-v-pishhevoj-promyshlennosti/betulinosoderzhashhij-jekstrakt-beresty-kak-funkcionalnyj-ingredient-dlja-obogashheniya-produktov-pitanija-s-celju-profilaktiki-zabolevanij/> (дата обращения 08.05.2025).

betulina/ispolzovanie-v-pishhevoj-promyshlennosti/betulinosoderzhashhij-jekstrakt-beresty-kak-funkcionalnyj-ingredient-dlja-obogashheniya-produktov-pitanija-s-celju-profilaktiki-zabolevanij/ (дата обращения 08.05.2025).

11. Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к продукции (товарам), подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю) от 28 мая 2010 г. docs.cntd.ru. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902249109>. (дата обращения 22.04.2025).

12. Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ : Методические рекомендации. М. : Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 46 с.

13. Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю). URL: <http://www.tsouz.ru/db/techregulation/sanmeri/Documents/Pi/shevayaCennost-1.pdf> (дата обращения 22.04.2025).

14. Патент РФ №: 2308837 A23C 3/08. Способ консервирования молока и молочных продуктов / Ткаченко Ю.А., Клабукова И.Н., Кислицын А.Н., Трофимов А.Н. Опубл. 27.10.2007.

Информация об авторах

О. Н. Мусина – д-р техн. наук, проф. кафедры технологии продуктов питания, гл. науч. сотр. ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».

Д. А. Усатюк – науч. сотр. лаб. научно-прикладных технологических разработок «Сибирского НИИ сыроделия» ФГБНУ ФАНЦА.

Н. И. Бондаренко – зав. лаб. научно-прикладных и технологических разработок «Сибирского НИИ сыроделия» ФГБНУ ФАНЦА.

Information about the authors

O.N. Musina - D.Sc., Professor of the Institute for Biotechnology, Food and Chemical Engineering, Chief Researcher, Polzunov Altai State Technical University.

D.A. Usatiuk - research scientist, lab. of scientific and applied technological developments of the "Siberian Research Institute of Cheese-Making", FASCA.

N.I. Bondarenko - Head of the lab. of scientific and applied technological developments of the "Siberian Research Institute of Cheese-Making", FASCA.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 22 октября 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 22 Oct 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.



Научная статья

4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)

УДК 664.681

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.017



РАЗРАБОТКА И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СДОБНОГО ПЕЧЕНЬЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕМЯН ЛЬНА И РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ МУКИ

Зурет Нурбиевна Хатко¹, Асет Ибрагимовна Блягоз²,
Марият Казбековна Богус³, Рамазан Хазретович Блягоз⁴

^{1, 2, 4} ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет», г. Майкоп, Россия

³ Майкопский государственный гуманитарно-технический колледж МГТК ФГБОУ ВО «Адыгейский государственный университет», г. Майкоп, Россия

¹ znkhatko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7097-1345>

² aset.blyagoz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2037-0514>

³ mkbogus@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-2937-1142>

⁴ blyagoz-roma@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-3165-1116>

Аннотация. В свете растущего интереса к здоровому образу жизни и правильному питанию разработка мучных кондитерских изделий функционального назначения представляет собой потенциально перспективное направление для индустрии пищевых продуктов. Такие продукты могут быть востребованы среди потребителей, стремящихся к выбору здорового питания. Производство функциональных продуктов питания может быть достигнуто за счет использования функциональных ингредиентов, в качестве которых можно использовать семена льна – ценный источник полиненасыщенных жирных кислот, пищевых волокон, антиоксидантов и других важных питательных веществ, и нетрадиционные виды муки. Семена льна выступают как функционально-технологическая добавка, позволяющая создавать интересные текстурные элементы и улучшающая вкусовые качества продуктов. Овсяная и льняная мука, используемые в качестве функциональных ингредиентов в рецептуре печенья, характеризуются значительным содержанием витаминов и минеральных веществ. Цель работы – разработка и исследование показателей качества сдобного печенья с использованием семян льна и различных видов муки для придания функциональной направленности. Представлены результаты анализа органолептических и физико-химических показателей качества разработанных видов сдобного печенья. Установлено их соответствие требованиям. Определено содержание некоторых минеральных веществ и витаминов в печенье: витамина В₁, макроэлементов (калий, кальций), микроэлементов (медь, железо, цинк). Показана функциональность сдобного печенья с использованием семян льна, обусловленная высоким содержанием витамина В₁ (на 46,9...47,7 % покрытие суточной нормы) и меди (на 32...39,6 % покрытие суточной нормы). Проведен сравнительный анализ содержания витамина В₁ и минеральных веществ в разработанных видах сдобного печенья с семенами льна с использованием разных видов муки. По содержанию функциональных ингредиентов разработанное печенье можно отнести к продуктам питания функционального назначения.

Ключевые слова: сдобное печенье, функциональное назначение, функциональный ингредиент, показатели качества, семена льна, мука овсяная, мука льняная, витамины, минеральные вещества, покрытие суточной потребности.

Благодарности: Работа выполнена за счет средств гранта ректора ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет» (тема «Аутентичные пищевые продукты и кулинарные изделия Республики Адыгея как основа для здорового питания традиции, технологии и их актуализация») и государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 1023122100005-9-2.9.1 Высокотехнологичные технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, обеспечивающие экспортный потенциал: новые конкурентоспособные пищевые продукты, новые медицинские и косметические средства, инновационные технологии, продление сроков хранения продуктов).

Для цитирования: Разработка и оценка качества сдобного печенья функционального назначения с использованием семян льна и различных видов муки / З. Н. Хатко [и др.] // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 105–110. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.017. EDN: <https://elibrary.ru/CEGEUE>.

DEVELOPMENT AND EVALUATION OF QUALITY OF FUNCTIONAL BISCUITS USING FLAX SEEDS AND VARIOUS TYPES OF FLOUR

Zuret N. Khatko ¹, Aset I. Blyagoz ², Mariat K. Bogus ³, Ramazan X. Blyagoz ⁴

^{1, 2, 4} Maykop State Technological University, Maykop, Russia

³ Maikop State College of Humanities and Technology MGGTK FGBOU VO «Adygea State University», Maykop, Russia

¹ znkhatko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7097-1345>

² aset.blyagoz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2037-0514>

³ mkbogus@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-2937-1142>

⁴ blyagoz-roma@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-3165-1116>

Abstract. In light of the growing interest in a healthy lifestyle and proper nutrition, the development of functional flour confectionery products represents a potentially promising direction for the food industry. Such products may be in demand among consumers seeking to choose a healthy diet. The production of functional food products can be achieved through the use of functional ingredients, which can be used as flax seeds - a valuable source of polyunsaturated fatty acids, dietary fiber, antioxidants and other important nutrients. Flax seeds act as a functional and technological additive that allows you to create interesting textural elements and improve the taste of products. Oatmeal and flaxseed flour, used as functional ingredients in the cookie recipe, are characterized by a significant content of vitamins and minerals. The purpose of the work is to develop and study the quality indicators of pastry using flax seeds and various types of flour to give a functional orientation. The results of the analysis of organoleptic and physico-chemical quality indicators of the developed types of pastry are presented. Their compliance with the requirements has been established. The content of some minerals and vitamins in cookies has been determined: vitamin B1, macronutrients (potassium, calcium), trace elements (copper, iron, zinc). The functionality of pastry using flax seeds is shown, due to the high content of vitamin B1 (46.9...47.7 % coverage of the daily value) and copper (32...39.6 % coverage of the daily value). A comparative analysis of the content of vitamin B1 and minerals in the developed types of pastry with flax seeds using different types of flour was carried out. According to the content of functional ingredients, the developed cookies can be attributed to functional food products.

Keywords: butter cookies, functional purpose, a functional ingredient, quality indicators, flax seeds, oat flour, flax-seed flour, vitamins, mineral substances, covering the daily requirement.

For citation: Khatko, Z.N., Blyagoz, A.I., Bogus, M.K. & Blyagoz, R.X. (2025). Development and evaluation of quality of functional biscuits using flax seeds and various types of flour. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 105-110. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.017. EDN: <https://elibrary.ru/CEGEUE>.

ВВЕДЕНИЕ

Приоритетной государственной задачей является укрепление здоровья человека, увеличение продолжительности и повышение качества жизни. В этом аспекте перед пищевой промышленностью стоит глобальная проблема по обеспечению качества пищевой продукции [1], для решения которой важное значение имеет увеличение производства функциональных продуктов питания, что может быть достигнуто за счет использования функциональных ингредиентов, богатых биологически активными веществами – корректорами пищевого статуса человека.

Одним из наиболее популярных и востребованных мучных кондитерских изделий на рынке является печенье, что объясняется успешным сочетанием нескольких ключевых параметров конкурентоспособности, обеспечивающих высокий спрос: цена, качество и потребительские свойства. Поэтому печенье остается лидером по объему продаж на рынке, привлекая к себе внимание и удовлетворяя потребности покупателей. Однако среди широкого ассортимента печенья, представленного на рынке, недостаточно продукции функционального назначения. В соответствии с принципами здорового питания возникает необходимость создания печенья из нетрадиционных видов муки, в состав которых входят также функциональные ингредиенты, дефицит которых в продуктах питания всегда представляет серьезную проблему. Обогащение мучных кондитерских изделий функциональными ингредиентами способствует повышению их пищевой и биологической

ценности. Для этого можно использовать разнообразные фрукты, овощи, семена различных культур и др. Также необходимо подбирать инновационные производства, направленные на сохранение ценных веществ при тепловой, механической обработке, в процессе реализации и хранения продукции.

Актуальность данного исследования обусловлена широким потребительским спросом всеми группами населения на печенье функционального назначения, обуславливающего возможность эффективной коррекции пищевого статуса и восполнения недостающих нутриентов для нормального функционирования человеческого организма.

Цель работы – разработка и исследование показателей качества сдобного печенья различных видов муки с использованием семян льна для придания функциональной направленности.

В рамках поставленной цели решались следующие задачи:

- 1) разработка и исследование органолептических и физико-химических показателей качества сдобного печенья;
- 2) определение и сравнительный анализ содержания витаминов и минеральных веществ в печенье;
- 3) обоснование функциональной направленности печенья.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объекты исследования – семена льна, мука овсяная, мука льняная, разработанное сдобное печенье с добавлением семян льна по вариантам: из пшенич-

РАЗРАБОТКА И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СДОБНОГО ПЕЧЕНЬЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕМЯН ЛЬНА И РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ МУКИ

ной муки (образец 1); из пшенично-овсяной муки в соотношении 90:10 (образец 2); из пшенично-льняной муки в соотношении 90:10 (образец 3).

Семена льна являются уникальным сырьем, они богаты полезными веществами и обладают множеством функциональных свойств. Семенами льна в качестве функционального ингредиента обогащают мучные кондитерские изделия и другие продукты питания для улучшения технологических свойств и повышения показателей качества. Такие продукты оказывают оздоравливающее и лечебно-профилактическое действие на организм человека [3–6].

Целесообразность использования семян льна в рецептуре печенья заключается в следующем:

1. Семена льна содержат значительное количе-

ство питательных веществ: полиненасыщенные жирные кислоты ω -3 и ω -6, являющиеся жизненно важными и необходимыми для поддержания здоровья; аминокислоты; клетчатка; витамины; макро- и микро-элементы; антиоксиданты, защищающие клетки организма от повреждений свободными радикалами, а в рецептуре печенья – повышающие стойкость продукта к окислению и срок хранения [7–10].

2. Семена льна повышают потребительские свойства печенья за счет привносимого орехового вкуса и хрустящей текстуры; обладают природными связующими свойствами, позволяющими формировать тесто с преимущественными показателями.

Витаминный и минеральный состав семян льна представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Витаминный и минеральный состав семян льна* [11, 12]

Table 1 – Vitamin and mineral composition of flax seeds [11, 12]

Наименование	Количество, мг/100 г	Норма для взрослого человека, мг/сутки	% от нормы в 100 г
Витамин В ₁	1,64	1,5	109,3
Витамин В ₅	0,99	5	19,8
Витамин В ₆	0,47	2	23,7
Калий	813	3500	23,2
Кальций	255	1000-1200	21,3-25,5
Магний	392	420	93,3
Натрий	30	1300	2,3
Фосфор	642	700	91,7
Железо	5,73	10-18	31,8-57,3
Марганец	2,48	2	124,0
Медь	1,22	1	122,0
Цинк	4,34	12	36,2

**Преимущественно содержащиеся*

Как показывают данные таблицы 1, семена льна содержат значительное количество витамина В₁, макро- и микроэлементов.

Наряду с семенами льна в качестве функциональных ингредиентов в рецептуре печенья использовали овсяную и льняную муку. Экспериментальные

образцы печенья были изготовлены на основе мучных композиций: пшеничная-овсяная, пшеничная-льняная.

В таблице 2 представлен витаминный и минеральный состав муки.

Таблица 2 – Витаминный и минеральный состав* муки [11, 13–15]

Table 2 – Vitamin and mineral composition of flour [11, 13–15]

Наименование	Количество, мг/100 г	Норма для взрослого человека, мг/сутки	% от нормы в 100 г
Мука пшеничная			
Витамин В ₁	0,17	1,5	11,3
Фосфор	86,0	700	11,4
Железо	1,2	10–18	6,67–12
Марганец	0,57	2	28,5
Медь	0,1	1	10
Мука овсяная			
Витамин В ₁	0,35	1,5	23,3
Магний	110	420	26,2
Фосфор	350	700	50
Железо	3,6	10–18	20–36
Мука льняная			
Витамин В ₁	1,64	1,5	109,6
Витамин В ₅	0,96	5	19,2
Витамин В ₆	0,43	2	21,5
Калий	813	3500	23,2
Кальций	255	1000–1200	21,3–25,5
Магний	392	420	93,3
Фосфор	642	700	91,7
Железо	5,73	10–18	31,8–57,3
Марганец	2,48	2	124
Медь	1,2	1	122
Цинк	4,34	12	36,2

**Преимущественно содержащиеся*

Как показывают данные таблицы 2, овсяная и льняная мука обладают преимущественным витаминным и минеральным составом, чем пшеничная. Поэтому их добавление в рецептуру печенья повысит пищевую и биологическую ценность продукта.

Анализ физико-химических показателей опытных образцов печенья проводился в лабораториях кафедры технологии пищевых продуктов и организации питания ФГБОУ ВО «МГТУ» и Испытательном лабораторном центре ФГБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Адыгея».

В ходе исследования были использованы стандартные методы определения показателей качества, используемые в пищевой промышленности [16, 17].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ранее нами разработаны рецептуры и технология сдобного печенья трех видов с добавлением 10 % семян льна: из пшеничной муки, из пшенично-овсяной муки, из пшенично-льняной муки. Оптимальное процентное соотношение мучных композиций – пшенично-овсяной и пшенично-льняной – 90:10 [2]. Внешний вид печенья представлен на рисунке 1.

Исследованы органолептические показатели (вкус и запах, форма, поверхность, цвет, вид в изломе) образцов печенья (рисунок 2). Результаты сравнивали с показателями по ГОСТ 24901-2014 [16].

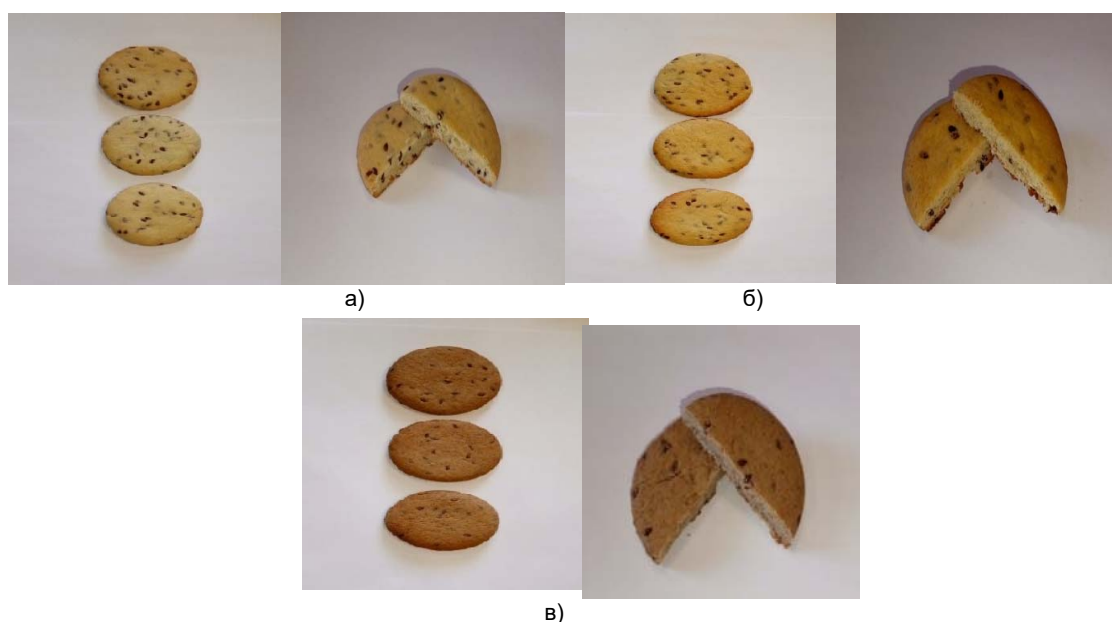


Рисунок 1 – Сдобное печенье с добавлением 10 % семян льна
а) из пшеничной муки; б) из пшенично-овсяной муки; в) из пшенично-льняной муки

Figure 1 – Pastry with the addition of 10 % flax seeds
a) made of wheat flour; b) from wheat and oat flour; c) made of wheat and flaxseed flour

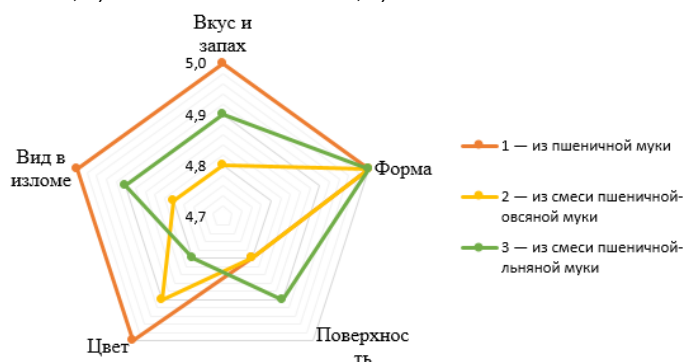


Рисунок 2 – Органолептический профиль опытных образцов сдобного печенья с добавлением 10 % семян льна

Figure 2 – Organoleptic profile of experimental samples of pastry with the addition of 10 % flax seeds

Анализ данных рисунка 2 показывает, что по нормируемым органолептическим показателям опытные образцы сдобного печенья с добавлением 10 % семян льна незначительно отличаются друг от друга и соответствуют требованиям ГОСТ 24901-2014 [16].

Результаты исследования физико-химических показателей печенья (массовая доля белка, жира, углеводов и намокаемость) представлены в таблице 3.

РАЗРАБОТКА И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СДОБНОГО ПЕЧЕНЬЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕМЯН ЛЬНА И РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ МУКИ

Таблица 3 – Физико-химические показатели опытных образцов сдобного печенья с добавлением 10 % семян льна
Table 3 – Physico-chemical parameters of experimental samples of pastry with the addition of 10 % flax seeds

Показатель	Значение показателя для печенья			
	Контроль (по ГОСТ 24901-2014)	Образец		
		1	2	3
Массовая доля				
- белка, %	не нормируется	6,6 ± 0,3	6,5 ± 0,3	6,6 ± 0,3
- жира, %, не более	40,0	14,7 ± 0,7	14,7 ± 0,7	14,7 ± 0,7
- углеводов, %	не нормируется	72,1 ± 3,6	72,1 ± 3,6	72,1 ± 3,6
Калорийность, ккал/100 г	не нормируется	447	446	447
Намокаемость, %, не менее	150	155	157	158

Анализ данных таблицы 3 показывает, что по физико-химическим показателям образцы печенья незначительно отличаются и соответствуют требованиям ГОСТ 24901-2014, ГОСТ 10114-80 [16, 17].

Исследовано содержание витамина В₁ и минеральных веществ в образцах сдобного печенья с добавлением 10 % семян льна (табл. 4).

Таблица 4 – Содержание витаминов и минеральных веществ в образцах сдобного печенья с добавлением 10 % семян льна
Table 4 – The content of vitamins and minerals in the samples of pastry with the addition of 10 % flax seeds

Показатель	Содержание в 100 г печенья с семенами льна, мг/100 г			
	1	Образец		
		2	3	
Массовая доля				
- витамина В ₁	1,79	1,77	1,76	
- калия	99 ± 20	93 ± 19	113 ± 23	
- кальция	26,1 ± 2,6	28,5 ± 2,9	27,0 ± 2,7	
- меди	0,99 ± 0,10	0,89 ± 0,09	0,80 ± 0,08	
- железа	1,45	1,4	1,1 ± 0,1	
- цинка	1,30 ± 0,13	1,30 ± 0,13	1,40 ± 0,14	

Как показывают данные таблицы 4, содержание витамина В₁ и минеральных веществ в анализируемых образцах печенья отличается и характеризуются значительным содержанием витамина В₁, калия, кальция.

Сравнительный анализ витаминного и минерального состава печенья показывает, что содержание витамина В₁, меди, железа больше в образце печенья из пшеничной муки; калия и цинка – из смеси пшеничной-льняной муки; кальция – из смеси пше-

ничной-овсяной муки. Содержание витамина В₁ и минеральных веществ в 3-х образцах печенья не имеет значительных отличий.

Далее изучена функциональность разработанного печенья на основании расчета суточной нормы потребности организма человека [11] в витамине В₁ и минеральных веществах, содержащихся в сдобном печенье с добавлением 10 % семян льна (таблица 5).

Таблица 5 – Покрытие суточной потребности организма человека в витамине В₁ и минеральных веществах, содержащихся в сдобном печенье с добавлением 10 % семян льна
Table 5 – Covering the daily needs of the human body in vitamin B1 and minerals contained in sweet biscuits with the addition of 10 % flax seeds

Показатель	Суточная потребность, мг	Содержание в 100 г/40 г печенья, мг			% от суточной потребности		
		Образец					
		1	2	3	1	2	3
Витамин В ₁	1,5	1,79/0,72	1,77/0,708	1,76/0,704	47,7	47,2	46,9
Калий	3500	99,0/39,6	93/37,2	113/45,2	1,13	1,06	1,29
Кальций	1000...1200	26,1/10,44	28,5/11,4	27,0/10,8	0,87...1,04	0,95...1,14	0,9...1,08
Медь	1,0	0,99/0,396	0,89/0,356	0,80/0,32	39,6	35,6	32
Железо	10...18	1,45/0,58	1,4/0,56	1,1/0,44	3,2...5,8	3,1...5,6	2,4...4,4
Цинк	12	1,30/0,52	1,30/0,52	1,40/0,56	4,3	4,3	4,67

Примечание. Рекомендуемая норма потребления печенья для человека без вреда для здоровья составляет 30-40 г / в день.

Анализ данных таблицы 5 показывает, что образцы печенья содержат витамин В₁ и медь в количествах, покрывающих суточную норму более 15 %, что обуславливает продукту функциональную направленность.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволили сформулировать следующие выводы:

1. Разработано сдобное печенье функционального назначения ссеменами льна (10 %) из пшенич-

ной муки, пшеничной-овсяной, пшеничной-льняной. Соотношение видов муки в смеси – 90:10. На основе анализа органолептического профиля печенья и физико-химических показателей показано соответствие требованиям.

2. Установлено, что преимущественное содержание витамина В₁, меди, железа – в образце печенья из пшеничной муки; калия и цинка – из пшеничной-льняной муки; кальция – из пшеничной-овсяной муки.

3. Подтверждена функциональная направленность разработанного печенья за счет покрытия суточной потребности организма человека в витамине В₁ на 46,9...47,7 % и меди – на 32...39,6 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29 июня 2016 г. № 1364-р.
2. Хатко З.Н., Блягоз А.И., Богус М.К. [и др.]. Разработка рецептуры и технологии сдобного печенья с использованием различных видов муки и семян льна. Новые технологии / New technologies. 2024; 20(1). <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2024-20-1-128-135>.
3. Миневиц И.Э. Научное обоснование и разработка научно-практических основ технологий глубокой переработки семян льна с получением ингредиентов для создания продуктов здорового питания: автореф... дис. докт. техн. наук. Тверь. 2022. 50 с.
4. Зубцов В.А. Семени льна и продукты их переработки как новый вид пищевых изделий повышенной биологической ценности / В.А. Зубцов, И.Э. Миневиц, Л.Л. Осипова // Хлебобулочные, кондитерские и макаронные изделия XXI века. Материалы V Международ. науч.-практич. конференции, посвященной 100-летию со дня образования ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» (14-16 сентября 2017 г.). Краснодар : Изд-во ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2017. С. 65–73.
5. Миневиц И.Э. Функциональная значимость семян льна и практика их использования в пищевых технологиях / И.Э. Миневиц // Health, Food & Biotechnology. 2019. № 1(2). С. 97–114. <https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i2.s224>.
6. Цыганова Т.Б. Использование семян льна и продуктов их переработки для оптимизации питания населения России / Т.Б. Цыганова, И.Э. Миневиц // Материалы докладов XII Межд. конф. «Торты. Вафли. Печенье. Пряники – 2020» Производство – Рынок – Потребитель / Международная промышленная академия, 26–28 февраля 2020 г. М. : 2020. С. 41–45.
7. Пищевая ценность семян льна и перспективные направления их переработки / Т.Б. Цыганова, И.Э. Миневиц, В.А. Зубцов, Л.Л. Осипова ; Московский государственный университет технологий и управления. Калуга: Эйдос, 2010. 124 с. ISBN 978-5-9902369-1-2. EDN VNFCWW.
8. Султаева Н.Л., Перминова В.С. Исследование свойств семян льна и разработка на их основе технологии хлебоблочных изделий // Интернет-журнал «НАУ-

КОВЕДЕНИЕ» Том 7, № 1 (2015). <http://naukovedenie.ru/PDF/145TVN115.pdf>. (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/145TVN115.

9. Enzfst L.E. Flaxseed (Linseed) fibre – nutritional and culinary uses – a review / L.E. Enzfst, M.E. Bveo // Food New Zealand. 2014. Issue april/may. P. 26–28.

10. Touré A. Flaxseed lignans: source, biosynthesis, metabolism, antioxidant activity, bioactive components, and health benefits / A. Touré, X. Xueming // Comprehensive Reviews in Food Sciences and Food Safety. Institute of Food Technologists. 2010. № 9 (3). P. 261–269.

11. Методические рекомендации 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.).

12. https://health-diet.ru/base_of_food/sostav/17498.php.

13. https://health-diet.ru/base_of_food/sostav/293.php.

14. https://health-diet.ru/base_of_food/sostav/587.php.

15. https://health-diet.ru/base_of_food/sostav/17498.php.

16. ГОСТ 24901-2014. Печенье. Общие технические условия.

17. ГОСТ 10114-80. Изделия кондитерские мучные. Метод определения намокаемости.

Информация об авторах

З. Н. Хатко – доктор технических наук, доцент, заведующая кафедрой технологии пищевых продуктов и организации питания ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет».

А. И. Блягоз – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии пищевых продуктов и организации питания ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет».

М. К. Богус – преподаватель Майкопского государственного гуманитарно-технического колледжа ФГБОУ ВО «Адыгейский государственный университет».

Р. Х. Блягоз – аспирант кафедры технологии пищевых продуктов и организации питания ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет».

Information about the authors

Z.N. Khatko - Doctor of Technical Sciences, an associate professor, the head of the Department of Food Technology and Catering, FSBEI HE «Maikop State Technological University».

A.I. Blyagoz - Candidate of Technical Sciences, an associate professor, an assistant professor of the Department of Food Technology and Catering FSBEI HE «Maikop State Technological University».

M.K. Bogus - lecturer at the Maikop State Humanitarian and Technical College of the Federal State Educational Institution of Higher Education «Adygea State University».

R.H. Blyagoz - postgraduate student of the Department of Food Technology and Catering FSBEI HE «Maikop State Technological University».

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 22 октября 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 22 Oct 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.



Научная статья

4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)

УДК 664.38

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.018



МАЙОНЕЗНЫЙ СОУС С ГИДРОЛАТОМ МЯТЫ ПЕРЕЧНОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Анастасия Викторовна Терёхина ¹, Виктория Николаевна Ярошева ²

^{1,2} ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», Воронеж, Россия

¹ gorbato.nastia@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4433-9615>

² yarosheva02@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0009-6613-5323>

Аннотация. Стремление к осознанному потреблению продуктов питания приводит к необходимости расширения ассортимента низкожирных майонезных соусов, обладающих полезными свойствами. Они являются отличным дополнением мясных, рыбных и овощных блюд, повышая их усвояемость и улучшая вкусовые свойства. В современных продуктах питания присутствует большое количество искусственных улучшителей вкуса и запаха, что также не оказывает положительного эффекта на здоровье человека. Наша разработка направлена на получение майонезного соуса с натуральным вкусо-ароматическим компонентом (гидролатом мяты перечной), который будет иметь сбалансированное соотношение ω -3 и ω -6 жирных кислот, что обуславливает его функциональность. На первом этапе исследования мы выбрали кукурузное и рыжиковое растительные масла и провели анализ их жирнокислотных составов. В процессе исследования определили, что ни одно из этих масел не обеспечивает организм человека необходимыми незаменимыми жирными кислотами в правильном соотношении, а точнее рекомендованном для функционального питания. В связи с этим было принято решение осуществить купажирование для получения в готовом майонезном соусе сбалансированного состава полиненасыщенных жирных кислот. На третьем этапе была рассчитана рецептура функционального майонезного соуса, в состав которого был внесен гидролат мяты перечной и рассчитанный купаж растительных масел. На четвертом этапе мы провели анализ органолептических характеристик майонезного соуса и подобрали процент внесения гидролата для оптимальных вкусо-ароматических характеристик. На пятом этапе мы исследовали жирнокислотный состав полученного майонезного соуса с гидролатом мяты перечной и обнаружили, что он успешно сохранил свой состав в процессе производства и хранения. При выборе композиций растительных масел руководствовались следующим – соотношение ω -6: ω -3 в триглицеридах должно быть близким к оптимальному (1:3), предающее разрабатываемому продукту функциональные свойства.

Ключевые слова: майонез, жирные кислоты, функциональный продукт, сбалансированный, хроматограмма, ω -3, ω -6, рыжиковое масло, кукурузное масло, гидролат, мята перечная.

Для цитирования: Терёхина А. В., Ярошева В. Н. Майонезный соус с гидролатом мяты перечной функционального назначения // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 111–117. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.018. EDN: <https://elibrary.ru/EILTEP>.

Original article

MAYONNAISE SAUCE WITH FUNCTIONAL PEPPERMINT HYDROLATE

Anastasiya V. Terekhina ¹, Viktoriya N. Yarosheva ²

^{1,2} Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia

¹ gorbato.nastia@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4433-9615>

² yarosheva02@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0009-6613-5323>

Abstract. The desire for conscious consumption of food products leads to the need to expand the range of low-fat mayonnaise sauces with beneficial properties. They are an excellent addition to meat, fish and vegetable dishes, increasing their digestibility and improving taste. Modern food products contain a large number of artificial flavor and smell enhancers, which also do not have a positive effect on human health. Our development is aimed at obtaining a mayonnaise sauce with a natural flavor and aroma component (peppermint hydrolate), which will have a balanced ratio of ω -3 and ω -6 fatty acids, which determines its functionality. At the first stage of the study, we selected corn and camelina vegetable oils and analyzed their fatty acid compositions. During the study, it was determined that none of these oils provides the human body with the necessary essential fatty acids in the correct ratio, or rather, recommended for functional nutrition. In this regard, it was decided to carry out blending to obtain a balanced composition of polyunsaturated fatty acids in the finished mayonnaise sauce. At the third stage, the recipe for a functional mayonnaise sauce was calculated, which included peppermint hydrolate and a calculated blend of vegetable oils. At the fourth stage, we analyzed the organoleptic characteristics of the mayonnaise sauce and selected the percentage of hydrolate introduction for optimal

© Терёхина А. В., Ярошева В. Н., 2025

taste and aroma characteristics. At the fifth stage, we studied the fatty acid composition of the resulting mayonnaise sauce with peppermint hydrolate and found that it successfully retained its composition during production and storage. When selecting the compositions of vegetable oils, we were guided by the following: the ratio of ω -6: ω -3 in triglycerides should be close to optimal (1:3), giving the developed product functional properties.

Keywords: mayonnaise, fatty acids, functional product, balanced, chromatogram, ω -3, ω -6, ginger oil, corn oil, hydrolate, peppermint.

For citation: Terekhina, A.V. & Yarosheva, V.N. (2025). Mayonnaise sauce with functional peppermint hydrolate. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 111-117. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.018. EDN: <https://elibrary.ru/EILTEP>.

ВВЕДЕНИЕ

Неблагоприятная экологическая ситуация, неправильное питание и ограниченное свободное время для отдыха могут негативно сказаться на работе пищеварительной системы. Это может привести к снижению ее функциональной активности и постепенному истощению организма, что, в свою очередь, может способствовать развитию различных заболеваний, связанных с нарушением обмена липидов [1, 2].

Стремление к осознанному потреблению продуктов питания приводит к необходимости расширения ассортимента низкожирных майонезных соусов, обладающих полезными свойствами, а именно полезный жировой профиль (повышение доли ω -3, ω -6 жирных кислот, отсутствие трансжиров, минимизация насыщенных жиров) [3], отсутствие вредных загустителей и улучшителей вкуса и запаха (без синтетических стабилизаторов и улучшителей, отказ от искусственных компонентов в пользу натуральных) [4]. Они являются отличным дополнением мясных, рыбных и овощных блюд, повышая их усвояемость и улучшая вкусовые свойства [5–7].

Согласно исследованиям, рынок майонезной продукции в Российской Федерации остается в стабильном состоянии, резких изменений в спросе не прогнозируется, ассортиментная линейка растет [8].

Эмульсионная природа майонезных соусов дает возможность регулировать их состав. Учеными исследуются все новые компоненты для производства майонезной продукции: амарантовая мука, соя, аквафаба, сафлоровое масло, куркумин [9–11], каждый из которых имеет свои обоснованные преимущества.

В современных продуктах питания присутствует большое количество искусственных улучшителей вкуса и запаха, что также не оказывает положительного эффекта на здоровье человека. Классификация пищевых добавок широка: красители, консерванты, антиокислители, стабилизаторы, загустители, эмульгаторы, усилители вкуса и аромата, пеногасители, глазирователи и т. д. Все добавки делятся на разрешенные, запрещенные и неразрешенные к применению. Широко используются пищевые добавки, получаемые из генетически модифицированных культур. Их воздействие на организм человека может проявиться спустя десятилетия. Многие добавки наносят ощутимый вред здоровью ребенка, человека [15]. Наша разработка направлена на получение майонезного соуса с натуральным вкусо-ароматическим компонентом (гидролатом мяты перечной), который будет иметь сбалансированное соотношение ω -3 и ω -6 жирных кислот, что обуславливает его функциональность.

МЕТОДЫ

Для исследования жирно-кислотного состава разработанного майонеза использовался газовый хроматограф «Хромотэк 5000.1», колонка SP-2560 (рисунок 1). Чтобы определить содержания каждой из

жирных кислот, применялся метод нормализации по площади. Приготовление метиловых эфиров жирных кислот реализовано в соответствии с ГОСТ 31665.

Условия проведения анализа были следующими: нанесенная фаза – цианопропилфенилполисилоксан, кварцевая капиллярная колонка: длина – 100 м, диаметр – 0,25 мм, ПИД детектор, объем вводимой пробы – 1 мкл, газ-носитель – азот.

В работе использовалось следующее сырье: кукурузное масло (ГОСТ 8808-2000 Масло кукурузное), рыжиковое масло (ГОСТ Р 59148-2020 Масло рыжиковое для пищевой и комбикормовой промышленности), яичный порошок (ГОСТ 30363-2013 Продукты яичные жидкие и сухие пищевые), льняная мука (ТУ 9146-004-31496822-2009 Льняная мука), молочная кислота (ГОСТ 490-2006 Кислота молочная пищевая), соль (ГОСТ Р 51574-2018 Соль пищевая), сахар белый (ГОСТ 33222-2015 Сахар белый), сухое обезжиренное молоко (ГОСТ 33629-2015 Консервы молочные. Молоко Сухое), листья мяты перечной (ГОСТ 23768-94 Листья мяты перечной обмолоченные).



Рисунок 1 – Хроматограф «Хромотэк 5000.1»

Figure 1 – Chromatograph "Chromotek 5000.1"

РЕЗУЛЬТАТЫ

На первом этапе исследования мы выбрали кукурузное и рыжиковое растительные масла и провели анализ их жирнокислотных составов.

Преобладающими жирными кислотами в рыжиковом масле являются (таблица 1, рисунок 2) линолевая, линоленовая и олеиновая. Преобладающими жирными кислотами в кукурузном масле являются (таблица 2, рисунок 3) линолевая и олеиновая. В процессе исследования определили, что ни одно из этих масел не обеспечивает организм человека необходимыми незаменимыми жирными кислотами в правильном соотношении, а точнее рекомендованном для функционального питания. Но в каждом из них присутствуют жирные кислоты ω -3 и ω -6 групп.

МАЙОНЕЗНЫЙ СОУС С ГИДРОЛАТОМ МЯТЫ ПЕРЕЧНОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В свою очередь, кукурузное масло содержит в своем составе значительное количество витамина Е, который является натуральным антиокислителем. В связи с этим было принято решение осуществить купажирование для получения в готовом майонезном соусе сбалансированного состава полиненасыщенных жирных кислот.

На третьем этапе была рассчитана рецептура функционального майонезного соуса, в состав которого был внесен гидролат мяты перечной и рассчитанный купаж растительных масел.

На четвертом этапе мы провели анализ органолептических характеристик майонезного соуса и подобрали процент внесения гидролата для оптимальных вкусо-ароматических характеристик.

На пятом этапе мы исследовали жирнокислотный состав полученного майонезного соуса с гидролатом мяты перечной и обнаружили, что он успешно сохранил свой состав в процессе производства и хранения. Это гарантирует сохранение его функциональных свойств.

В состав майонезного соуса с гидролатом мяты перечной вошли следующие компоненты: купаж кукурузного и рыжикового растительных масел, яичный компонент, льняная мука (в качестве стабилизационной системы), молочная кислота, соль, сахар белый, сухое обезжиренное молоко (СОМ), гидролат мяты перечной и вода в следующих пропорциях % масс.: масло кукурузное 21 %; масло рыжиковое 14 %; мука льняная 2–3 %; СОМ 10 %; соль 0,5 %; сахар белый 0,8 %; яичный порошок 1 %; молочная кислота 1 %; гидролат 35 %; вода (остальное) до 100%.

В процессе исследований на основе органолептических характеристик готового продукта было принято решение добавить гидролат мяты перечной в состав продукта в количестве 35 %. При внесении большого количества вкус становился сильно-выраженным не свойственным майонезным соусам, а внесение меньшего количества не придавало аромата. Расчет рецептуры майонеза – это комплексный процесс, учитывающий химические, технологические и нормативные требования. В соответствии с нормативно-технической документацией было определено процентное соотношение жировой и водной фаз, методом материального баланса рассчитаны остальные компоненты. Экспериментальным подбором определена жировая основа.

Для получения гидролата использовали: сырье мяты перечная (*Mentha piperita* L.). Получали методом паровой дистилляции. Согласно исследованиям, в состав эфирного масла мяты перечной (соответственно и гидролата мяты перечной) вошли: карвон, гермакрин, пиперитон, пулегон, ментол, изонеоментол, неоментол, метилацетат, изоментон, ментон, линалоол [16].

В таблицах 1–3 и рисунках 1–3 приведены результаты расчетов жирных кислот и хроматограммы рыжикового масла, кукурузного масла и майонезного соуса с гидролатом мяты перечной, полученные в результате хроматографического анализа. Жирнокислотный состав льняной муки учтен в анализе состава готового майонезного соуса с гидролатом мяты перечной.

По рисунку 2 мы видим, что доминирующими пиками в рыжиковом масле являются шестой седьмой и девятый, время их выхода 48.937 мин, 51.911 мин, 55.443 мин. Этому времени соответствует выход следующих жирных кислот соответственно олеиновой, ленолевой, леноленовой в следующих концентрациях 20.654, 19.543, 31.659 (таблица 1).

Хроматограмма кукурузного масла (рис. 3) иллюстрирует доминирование трех жирных кислот, выходящих на 40, 48 и 52 минутах. Концентрация этих жирных кислот согласно таблице 2 составила С 16:0 = 9.677; С 18:1 = 31.981; С 18:2 = 53.242. Полученные результаты иллюстрируют отсутствие в кукурузном масле жирных кислот группы ω-3.

Согласно рисунку 3, доминирующими пиками в разработанном майонезном соусе являются пики, выходящие на 48 мин, 51 мин и 54 мин. Этому времени соответствует (таблица 3) следующие жирные кислоты с концентрацией олеиновая 26,76; линолевая 40,7; линоленовая 13,39.

На рисунке 4 представлены профилограммы запаха и вкуса двух образцов майонеза. Первый изготовлен по рассчитанной рецептуре с внесением воды, во вторую часть воды заменена гидролатом.

Согласно ГОСТ 31761-2012 «Майонезы и соусы майонезные. Общие технические условия», допускается включение функциональных ингредиентов при сохранении органолептических свойств и безопасности продукта. Согласно классификации функциональных ингредиентов (ГОСТ Р 54059-2010), полиненасыщенные жирные кислоты (ω-3) являются функциональным ингредиентом, который оказывает эффект поддержания деятельности сердечно-сосудистой системы, сохраняют тонус стенок кровеносных сосудов и их проходимость, оказывает антитромботическое действие, также обеспечивает системное иммуномодулирующее действие, поддерживает уровень глюкозы в крови и уровень инсулина в крови.

Майонезный соус можно отнести к функциональным жировым продуктам, относящимся к четвертой группе, а точнее обогащенный полиненасыщенными жирными кислотами и ко второй группе продуктов, из которых исключены вещества, вредные для здоровья и/или препятствующие проявлению его функциональности [17].

Таблица 1 – Расчет по компонентам рыжикового масла / Table 1 – Calculation by components ginger oil

Время, мин	Компонент	Группа	Площадь	Высоты	Концентрация
32.331	Лауриновая	12:0	212.166	19.911	0.616
36.404	Миристиновая	14:0	67.154	15.894	0.195
40.907	Пальмитиновая	16:0	2016.040	435.069	5.854
42.531	Пальмитолеиновая	16:1	39.698	9.207	0.115
46.764	Стеариновая	18:0	939.423	136.903	2.728
48.937	Олеиновая	18:1	7112.481	768.187	20.654
51.911	Линолевая	18:2	6729.732	855.498	19.543
53.744	Арахидовая	20:0	451.672	90.177	1.312
55.443	Линоленовая	18:3	10902.053	1087.926	31.659
55.889	Гондоиновая	20:1	4385.401	475.946	12.735
58.997	Бегеновая	22:0	486.158	96.648	1.412
62.606	Эруковая	22:1	753.869	136.051	2.189
67.157	Лигноцериновая	24:0	68.077	12.798	0.198
69.244	Селахоловая	24:1	272.232	33.028	0.791

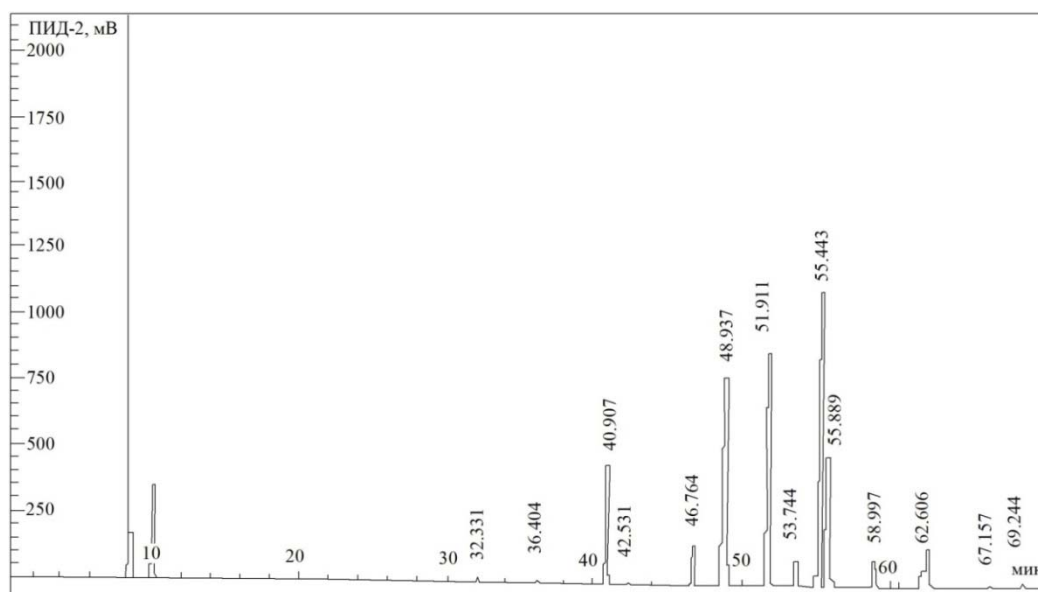


Рисунок 2 – Хроматограмма рыжикового масла

Figure 2 – Chromatogram ginger oil

Таблица 2 – Расчет по компонентам кукурузного масла / Table 2 – Calculation by components corn oil

Время, мин	Компонент	Группа	Площадь	Высоты	Концентрация
36.413	Миристиновая	14:0	43.062	8.596	0.143
40.944	Пальмитиновая	16:0	2910.974	566.037	9.677
46.808	Стеариновая	18:0	804.171	115.015	2.673
48.997	Олеиновая	18:1	9620.372	912.518	31.981
52.075	Линолевая	18:2	16015.781	1354.965	53.242
53.627	Арахидовая	20:0	128.144	25.216	0.426
55.214	Линоленовая	18:3	261.862	53.555	0.871
55.694	Гондоиновая	20:1	105.912	14.629	0.352
60.681	Бегеновая	22:0	115.558	25.788	0.384
67.179	Лигноцериновая	24:0	75.278	12.927	0.250

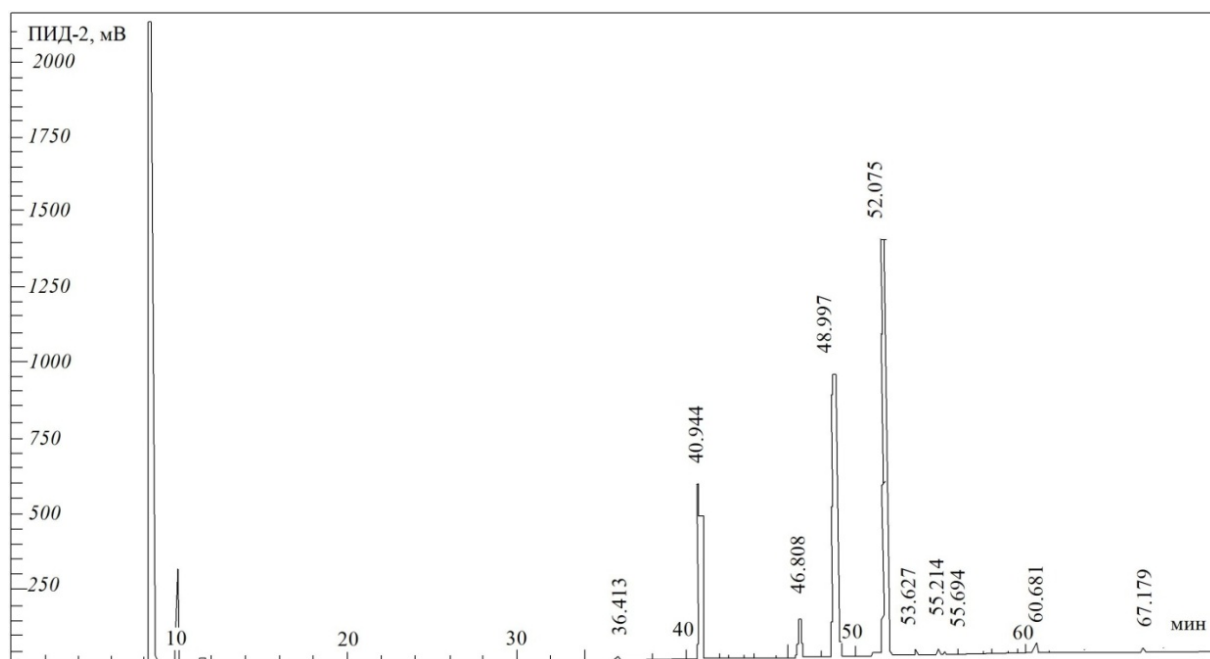


Рисунок 3 – Хроматограмма кукурузного масла

Figure 3 – Chromatogram corn oil

МАЙОНЕЗНЫЙ СОУС С ГИДРОЛАТОМ МЯТЫ ПЕРЕЧНОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Таблица 3 – Расчет по компонентам майонезного соуса с гидролатом мяты перечной

Table 3 – Calculation of the components of mayonnaise sauce with peppermint hydrolate

Время, мин	Компонент	Группа	Площадь	Высоты	Концентрация
36.116	Миристиновая	14:0	7.45696	1.74823	0.06126
40.681	Пальмитиновая	16:0	974.06506	153.41179	8.00193
42.267	Пальмитолеиновая	16:1	12.11291	2.27433	0.09951
46.458	Стеариновая	18:0	317.67249	25.98942	2.60967
48.629	Олеиновая	18:1	3257.59985	248.82719	26.76113
48.768	Олеиновая	18:1	92.78657	15.61165	0.76224
51.617	Линолевая	18:2	4956.01758	386.13046	40.71360
53.075	Арахидовая	20:0	91.52878	16.38688	0.75191
54.724	Линоленовая	18:3	1630.51721	187.64487	13.39467
55.083	Гондоиновая	20:1	614.50305	80.48219	5.04813
58.167	Бегеновая	22:0	68.27251	11.12514	0.56086
61.593	Эруковая	22:1	104.32505	19.57226	0.85703
65.898	Лигноцериновая	24:0	25.64112	4.25020	0.21064
67.935	Селахоловая	24:1	20.37916	3.62984	0.16741

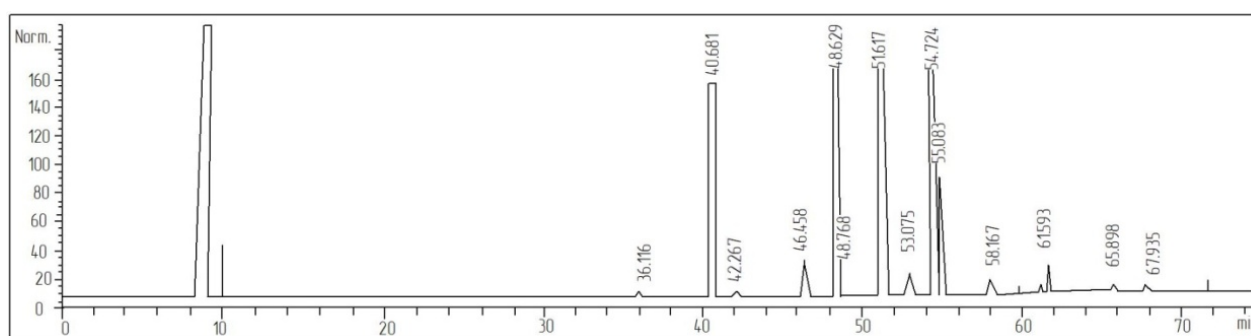


Рисунок 3 – Хроматограмма майонезного соуса с гидролатом мяты перечной

Figure 3 – Chromatogram mayonnaise sauce with peppermint hydrolate

Таблица 4 – Жирно-кислотный состав жировой фазы

Table 4 – Fatty acid composition of the fat phase

Образец	Линолевая (фактическое), мас. %	α -Линоленовая (фактическое), масс. %	Линолевая (ожидаемое), мас. %	α -Линоленовая (ожидаемое), масс. %	ω -6 : ω -3 фактическое	ω -6 : ω -3 ожидаемое
Рыжиковое масло	19.543	31.659	19.92	32.66	–	–
Кукурузное масло	53.242	0.871	53.89	0.280	–	–
Купаж	40.71360	13.39467	40.302	13.232	1:3,15	1:3

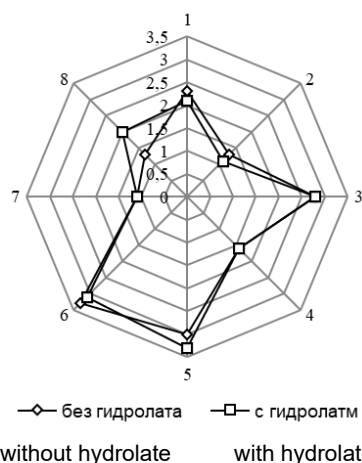


Рисунок 4 – Профилограммы вкуса разработанного майонезного соуса

Figure 4 – Taste profiles of the developed mayonnaise sauce

ОБСУЖДЕНИЕ

При органолептической оценке исследовалась выраженность следующих вкусов: кислый; острый; соленый; сладкий; горький; пряный; молочный; посторонний привкус. Из представленной профиллограммы (рис. 4) видно, что представленные на анализ образцы получили достаточно высокие оценки. Следует отметить, что образец с гидролатом имеет пряный вкус, который дегустаторы идентифицировали по шкале как посторонний привкус в сравнении с первым образцом. Этот привкус обусловлен присутствием ментоловых нот в мятном сырье и соответственно в гидролате.

При выборе композиций растительных масел руководствовались следующим – соотношение ω -6 : ω -3 в триглицеридах должно быть близким к оптимальному (1:3), предразрабатываемому продукту функциональные свойства. Результаты проведенного исследования доказали воспроизводимость этого соотношения в составе разработанного майонезного соуса с гидролатом мяты перечной (таблица 4).

Жирнокислотные составы растительных масел достаточно сложные и включают в себя все группы жирных кислот.

В связи с тем, что нам было необходимо оптимизировать жирнокислотный состав майонезного соуса по ω -3 (линолевая) и ω -6 (α -линоленовая), то основное внимание при изучении было отведено содержанию именно этих кислот.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемая рецептура майонезного соуса с гидролатом мяты перечной имеет рекомендованное для функционального питания соотношение полиненасыщенных жирных кислот, при регулярном потреблении будет восполнять их дефицит в рационе потребителя.

Полученный продукт требует дополнительного исследования на изменение кислотного и перекисного числа, что будет следующим этапом этой научной работы. С помощью введения в рецептуру гидролата мяты перечной удалось получить майонезный соус, обладающий улучшенными вкусо-ароматическими характеристиками.

Результаты исследования показали целесообразность купажирования рыжикового и кукурузного масла ввиду высокого содержания в них полиненасыщенных жирных кислот, представляющих особую ценность для организма человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гулуева С.М. Заболевания, возникшие в результате нарушения липидного обмена / Научные исследования XXI века. 2024. № 2 (28). С. 187–189.
2. Андриянов А.И., Кравченко Е.В., Кузьмин С.Г., Лазаренко Л.П., Коростелева О.Г., Сметанин А.Л., Дарьина Н.И., Коновалова И.А. Состояние и перспективы использования функциональных пищевых продуктов в питании населения и военнослужащих / Морская медицина. 2020. Т. 6. № 1. С. 43–55.
3. Калашникова С.П., Соловьев В.Г., Никонова Л.Г., Гагаро М.А. О роли липидов в питании / Научный медицинский вестник Югры. 2024. Т. 40. № 2. С. 8–19.
4. Гафуров С.Д., Гафурова С.С. Пищевые добавки и их негативное влияние на человеческий организм : монография ; В книге : Научная инициатива: проблемы и перспективы внедрения инновационных решений / Бахтеева А.А., Гафуров С.Д., Гафурова С.С., Гордеева В.В., Демьянова О.В., Дербенева С.А., Иванова Л.Д., Исаков Т.Х., Колосов Г.А., Лисина А.Д., Неустроев В.Д., Ни-

кифорова А.А., Острова В.П., Стародубова А.В., Шакуров А.А., Шерпутовский Ю.В., Юсупова Т.Г. Уфа, 2023. С. 77–92.

5. Разработка ресурсосберегающей технологии комплексной переработки масличных культур на сырьевые компоненты / Копылов М.В. [и др.] // Ползуновский вестник. 2019. № 2. С. 7–11. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2019.02.002.

6. Остриков А.Н., Терёхина А.В. Конструктивное оформление и методика расчета процесса получения сливочно-растительных спредов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2018. Т. 80. № 2 (76). С. 23–29. doi: 10.20914/2310-1202-2018-2-23-29.

7. Терёхина А.В., Копылов М.В. Жировая основа спредов функционального назначения / В сборнике: Инновационные тенденции развития российской науки. Материалы XV Международной научно-практической конференции молодых ученых. Красноярск, 2022. С. 454–455.

8. Бронникова В.В., Кирьянова Г.П. Рынок майонеза и майонезных соусов: состояние и перспективы // Фундаментальные и прикладные исследования кооперативного сектора экономики. 2023. № 2. С. 110–117.

9. Кондаурова М.Н., Бутова С.В. Исследование функционально-технологических свойств амарантовой муки для стабилизации майонезных соусов функционального назначения // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. 2017. № 2 (9). С. 76–79.

10. Скрипко О.В. Инновационная технология получения майонезного соуса с использованием сои ; в сборнике: Развитие современной науки: теоретические и прикладные аспекты. Сборник статей студентов, магистрантов, аспирантов, молодых ученых и преподавателей / Под общей редакцией Т.М. Сигитова. Пермь, 2017. С. 15–16.

11. Долгополова С.В. Перспективные направления использования аквафабы при производстве кулинарной и кондитерской продукции функционального назначения // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2021. № 5 (70). С. 54–58.

12. Бектурганова А.А., Рахимжанова А., Муканова К., Жуманова Д.Т. Возможности использования сафлорового масла в приготвлении майонезов и спредов // Известия Омского технологического университета. 2023. № 1. С. 5–10.

13. Ghirro L.C., Rezende S., Ribeiro A.S., Rodrigues N. [et al.]. Pickering emulsions stabilized with curcumin-based solid dispersion particles as mayonnaise-like food sauce alternatives // Molecules. 2022. V. 27. № 4. P. 1250.

14. Mirzanajafi-Zanjani M., Yousefi M., Ehsani A. Challenges and approaches for production of a healthy and functional mayonnaise sauce // Food science & nutrition. 2019. V. 7. № 8. P. 2471–2484. doi: 10.1002/fsn3.1132.

15. Гафуров С.Д., Ахмедова А.Р., Гафурова С.С., Юсуфов Ш.Ф., Нозиров К.Б. Пищевые добавки и их негативное влияние на человеческий организм / Наука и инновация. 2022. № 2. С. 32–40.

16. Терёхина А.В., Ярошева В.Н. Гидролат мяты перечной – инновационный ингредиент для эмульсионных жировых продуктов / В сборнике: Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство. Материалы IX Международной научно-технической конференции. Воронеж, 2024. С. 115–116.

17. Берестова А.В. Основы функционального питания : учеб. пособие / А.В. Берестова. Оренбург : ОГУ, 2021. 167 с.

Информация об авторах

А. В. Терёхина – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии жиров процессов и аппаратов химических и пищевых производств ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий».

МАЙОНЕЗНЫЙ СОУС С ГИДРОЛАТОМ МЯТЫ ПЕРЕЧНОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В. Н. Ярошева – студент кафедры технологии жиров процессов и аппаратов химических и пищевых производств ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий».

REFERENCES

1. Gulueva, S.M. Diseases resulting from impaired lipid metabolism / 21st Century Research. 2024. No. 2 (28). P. 187-189. (In Russ.).
2. Andriyanov, A.I., Kravchenko, E.V., Kuzmin, S.G., Lazarenko, L.P., Korosteleva, O.G., Smetanin, A.L., Dar'ina, N.I., Konovalova, I.A. Status and prospects of the use of functional foods in the nutrition of the population and military personnel / Marine medicine. 2020. Vol. 6. No. 1. P. 43-55. (In Russ.).
3. Kalashnikova, S.P., Solovyov, V.G., Nikonova, L.G., Gagaro, M.A. On the role of lipids in nutrition / Scientific Medical Bulletin of Yugra. 2024. Vol. 40. No. 2. P. 8-19. (In Russ.).
4. Gafurov, S.D., Gafurova, S.S. Food additives and their negative impact on the human body : monograph / In the book: Scientific initiative: problems and prospects of implementing innovative solutions. Bakhteeva A.A., Gafurov S.D., Gafurova S.S., Gordeeva V.V., Demyanova O.V., Derbeneva, S.A., Ivanova L.D., Isakov T.H., Kolosov GA, Lisina A.D., Neustroev V.D., Nikiforova A.A., Ostrova V.P., Starodubova A.V., Shakurov A.A., Sherputovsky Yu.V., Yusupova T.G. Ufa, 2023. P. 77-92. (In Russ.).
5. Development of resource-saving technology for complex processing of oilseeds into raw materials / Kopylov M.V. [and others] // Polzunovsky Bulletin. 2019. No. 2. P. 7-11. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2019.02.002.
6. Ostrikov, A.N., Teryokhina, A.V. Constructive design and calculation methods for the process of obtaining creamy-vegetable spreads // Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2018. T. 80. No. 2 (76). pp. 23-29. (In Russ.). doi: 10.20914/2310-1202-2018-2-23-29.
7. Teryokhina, A.V., Kopylov, M.V. Fat base of functional spreads / In the collection: Innovative trends in the development of Russian science. Materials of the XV International Scientific and Practical Conference of Young Scientists. Krasnoyarsk, 2022. pp. 454-455. (In Russ.).
8. Bronnikova, V.V., Kiryanova, G.P. The market for mayonnaise and mayonnaise sauces: state and prospects // Fundamental and applied research in the cooperative sector of the economy. 2023. (In Russ.). No. 2. P. 110-117.
9. Kondaurova, M.N., Butova, S.V. Study of the functional and technological properties of amaranth flour for stabilizing mayonnaise sauces for functional purposes // Technologies and commodity science of agricultural products. 2017. No. 2 (9). pp. 76-79. (In Russ.).
10. Skripko, O.V. Innovative technology for producing mayonnaise sauce using soy // In the collection: Development of modern science: theoretical and applied aspects. Collection of articles by students, undergraduates, graduate students, young scientists and teachers. Under the general editorship of T.M. Sigitova. Perm, 2017. pp. 15-16. (In Russ.).
11. Dolgoplova, S.V. Promising directions for the use of aquafaba in the production of culinary and confectionery products for functional purposes // Technology and merchandising of innovative food products. 2021. No. 5 (70). pp. 54-58. (In Russ.).
12. Bekturganova, A.A., Rakhimzhanova, A., Mukanova, K., Zhumanova, D.T. Possibilities of using safflower oil in the preparation of mayonnaise and spreads // News of Osh Technological University. 2023. No. 1. P. 5-10. (In Kazakhstan).
13. Ghirro, L.C., Rezende, S., Ribeiro, A.S., Rodrigues, N. [et al.]. Pickering emulsions stabilized with curcumin-based solid dispersion particles as mayonnaise-like food sauce alternatives // Molecules. 2022. V. 27. no. 4. P. 1250. (In Portugal).
14. Mirzanajafi-Zanjani, M., Yousefi, M., Ehsani, A. Challenges and approaches for the production of a healthy and functional mayonnaise sauce // Food science & nutrition. 2019. V. 7. no. 8. P. 2471-2484. doi: 10.1002/fsn3.1132. (In Iran).
15. Gafurov, S.D., Akhmedova, A.R., Gafurova, S.S., Yusufov, Sh.F., Nozirov, K.B. Food additives and their negative impact on the human body / Science and Innovation. 2022. No. 2. P. 32-40. (In Russ.).
16. Terekhova, A.V., Yarosheva, V.N. Peppermint hydrolate - an innovative ingredient for emulsion fat products / In the collection: Innovative technologies in the food industry: science, education and production. Proceedings of the IX International Scientific and Technical Conference. Voronezh, 2024. P. 115-116. (In Russ.).
17. Berestova, A.V. Fundamentals of functional nutrition: a tutorial / A.V. Berestova. Orenburg : OSU, 2021. 167 p. (In Russ.).

Information about the authors

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.

V.N. Yarosheva - student of the Department of Technology of Fats Processes and Devices of Chemical and Food Industries of the Voronezh State University of Engineering Technologies.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 22 октября 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 22 Oct 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.



Научная статья

4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)

УДК 663. 81

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.019



ВЛИЯНИЕ БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НА ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ КАЧЕСТВА НАТУРАЛЬНЫХ ЯБЛОЧНЫХ СОКОВ

Елена Сергеевна Троско ¹, Юлия Сергеевна Гунина ²,
Оксана Юрьевна Михайлова ³, Елена Владимировна Скороспелова ⁴

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

¹ nord-hmel@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2302-2160>

² jugunina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4955-1033>

³ mihailova_oxana007@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4554-9449>

⁴ elenkavinodel@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9508-7342>

Аннотация. Яблоки – доступный витаминный продукт для большей части населения РФ, их потребление в свежем виде возможно в течение всего года. Много исследований проводится в отношении антиоксидантной активности полифенольных соединений, находящихся в яблоках. Содержание полифенольных веществ в новых сортообразцах яблони не снижается, а порой и превосходит дикие формы. Высокое содержание в плодах органических кислот уменьшает окисление полифенолов, что повышает профилактические качества плодов. Для круглогодичного потребления целесообразно изготавливать из плодов яблонь-полукультурок продукты переработки, самыми популярными из которых являются соки. Цель исследования – изучение взаимосвязей биохимических показателей и органолептических качеств соков, приготовленных из плодов яблони алтайской селекции. Задачи – оценить органолептические качества (вкус, аромат и внешний вид) и биохимический состав соков (сумма органических кислот, сахаров и полифенолов), выявить наличие взаимосвязей между органолептическими и биохимическими показателями. Исследования выполнены в лаборатории селекции плодовых и ягодных культур и лаборатории индустриальных технологий Федерального Алтайского научного центра агробиотехнологий в 2020–2024 гг. Для данного исследования объектами послужили лучшие по комплексу признаков сорта яблони, а также отборные и элитные гибриды с хорошим и отличным вкусом свежих плодов (4,1–4,7 баллов). Согласно методическим рекомендациям, из плодов изготовлены натуральные нефilterованные соки без добавленных подсластителей. Исследования заключались в изучении взаимосвязей между компонентами восприятия вкуса яблочных соков и их биохимическим составом. При выявлении закономерностей физико-химических показателей обнаружено наличие взаимосвязей между органолептическими качествами соков. Среди биохимических показателей наиболее тесно со вкусом коррелирует общее количество сахаров в соке ($r = 0,528$). Выявлено достоверно значимое влияние суммы сахаров ($p \leq 0,0001$; $\beta = 0,383$) и суммы органических кислот ($p \leq 0,0001$; $\beta = -0,323$) на органолептические качества натуральных яблочных соков, при этом вклад сахаров в восприятие вкуса выше, чем кислот.

Ключевые слова: яблоня, яблочный сок, органолептические качества, биохимический состав, корреляция, вкус, сахарокислотный индекс, полифенолы, сумма сахаров, органические кислоты.

Для цитирования: Влияние биохимических показателей на органолептические качества натуральных яблочных соков / Е. С. Троско [и др.] // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 118–123. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.019. EDN: <https://elibrary.ru/EVJNRE>.

Original article

INFLUENCE OF BIOCHEMICALPARAMETERSONORGANOLEPTIC QUALITIES OF NATURALAPPLEJUICES

Elena S. Trosko ¹, Yulia S. Gunina ², Oksana Y. Mikhailova ³,
Elena V. Skorospelova ⁴

^{1, 2, 3, 4} Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnologies, Barnaul, Russia

¹ nord-hmel@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2302-2160>

² jugunina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4955-1033>

³ mihailova_oxana007@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4554-9449>

⁴ elenkavinodel@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9508-7342>

Abstract. Apples represent a readily accessible source of vitamins for the majority of the population of the Russian Federation, with their consumption in fresh form being a year-round possibility. A substantial body of research has been dedicated to investigating the antioxidant properties of the polyphenolic compounds present in apples. Notably, the

© Троско Е. С., Гунина Ю. С., Михайлова О. Ю., Скороспелова Е. В., 2025

ВЛИЯНИЕ БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НА ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ КАЧЕСТВА НАТУРАЛЬНЫХ ЯБЛОЧНЫХ СОКОВ

content of these polyphenols in new apple varieties does not decrease, and in some cases, it exceeds that of wild forms. The high content of organic acids in fruits has been demonstrated to reduce the oxidation of polyphenols, thereby enhancing their preventive qualities. The year-round consumption of processed products derived from crab-apple trees is recommended, with juices being the most popular. The present study aims to investigate the interrelations of biochemical parameters and organoleptic qualities of juices prepared from fruits of Altai apple tree breeding. The objectives of the study are threefold: firstly, to evaluate the organoleptic qualities (taste, aroma and appearance) and biochemical composition of juices (sum of organic acids, sugars and polyphenols); secondly, to reveal the presence of interrelations between organoleptic and biochemical indicators; and thirdly, to provide a comprehensive understanding of the relationship between the organoleptic and biochemical characteristics of juices produced from Altai apple trees. The research was conducted in the laboratory of fruit and berry crops selection and the laboratory of industrial technologies of the FSBSI «Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnology» between 2020-2024. The study utilised the finest apple varieties, along with selected and elite hybrids that demonstrated a superior taste profile (4.1-4.7 points) in fresh fruit. In accordance with the methodological recommendations, natural unfiltered juices devoid of added sweeteners were prepared from the fruits. The research endeavour focused on the exploration of the interrelationships between the components of flavour perception of apple juices and their biochemical composition. The identification of patterns in physico-chemical indicators revealed the presence of interrelationships between the organoleptic qualities of the juices. Among the biochemical indicators, the total amount of sugars in juice exhibited the strongest correlation with flavour ($r=0.528$). The study revealed a significantly significant influence of the sum of sugars ($p \leq 0.0001$; $\beta=0.383$) and the sum of organic acids ($p \leq 0.0001$; $\beta = -0.323$) on the organoleptic qualities of natural apple juices, with the contribution of sugars to flavour perception being higher than that of acids.

Keywords: apple trees, apple juice, organoleptic qualities, biochemical composition, correlation, flavour, sugar acid index, polyphenols, sum of sugars, organic acids.

For citation: Trosko, E.S., Gunina, Yu.S., Mikhailova, O.Yu. & Skorospelova, E.V. (2025). Influence of biochemical parameters on organoleptic qualities of natural apple juices. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 118-123. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.019. EDN: <https://elibrary.ru/EVJNRE>.

ВВЕДЕНИЕ

Яблоки составляют важную часть рациона человека, являясь источником моносахаридов, минералов, пищевых волокон и различных биологически активных соединений, (в том числе действующих как природные антиоксиданты) [1]. Яблоки считаются наиболее доступным витаминным продуктом. Для большей части населения РФ потребление свежих яблок возможно в течение всего года.

Поскольку яблоки распространенный продукт питания, их полезное воздействие интенсивно изучается, особенно много исследований посвящено антиоксидантной активности полифенольных соединений, содержащихся в их плодах. Клинические исследования показали эффективность влияния некоторых соединений полифенольной группы на организм человека, хотя большинство из них на данный момент не имеют доказанной эффективности и рассматриваются как профилактические [2–4].

Мировой генофонд яблони составляет более 7000 сортов. Несмотря на богатый ассортимент, рынок представлен десятком товарных сортов, которые занимают основные площади коммерческих посадок яблони по всему миру, в том числе и на территории РФ.

В связи с привлечением в селекцию *Malus baccata* и *Malus prunifolia*, сибирский районированный сортимент яблони обладает высокой зимо- и морозостойкостью, коротким вегетационным периодом, а также генетически обусловленным повышенным количеством полифенолов. Генетические особенности *M. baccata* и первостепенность зимостойкости над прочими качествами сформировали особый тип зимостойких полукультурок, подходящих для выращивания в континентальном климате при особенных условиях увлажнения. Антиоксидантные и прочие свойства полифенольных веществ физиологически необходимы яблоне в зонах рискованного земледелия обуславливают наличие высокого их содержания в тканях яблони сибирского сортимента (в том числе плодах), что, безусловно, оказывает влияние на сортоспецифические вкусовые и технологические качества [3, 5–8].

Несмотря на то, что селекция яблони в Сибири велась на комплекс хозяйственно-полезных признаков и направлена в какой-то мере на приближение товарных качеств местных яблок к коммерческим мировым сортам, содержание полифенольных веществ в новых сортообразцах алтайской селекции не ниже, а порой и выше, чем у видовых форм (общепринятых «чемпионов» по количеству полифенолов). Высокий же уровень органических кислот уменьшает окисление полифенолов, что в совокупности повышает профилактические качества плодов яблони-полукультурки.

В связи с отсутствием в сибирском районированном сортименте настоящих «зимних» сортов (пригодных для длительного хранения) для круглогодичного потребления целесообразно изготавливать из плодов яблонь-полукультурок продукты переработки, самыми популярными из которых являются соки. Несмотря на то, что питательная ценность целых яблок выше, чем изготовленных из них соков, нефiltroванные неосветленные натуральные соки без добавленных подсластителей являются удобной заменой свежим плодам.

Результаты исследований [9–14] показывают наличие связей между различными показателями яблочных соков, отмечая тесные корреляционные связи вкуса и сахарокислотный индекс (СКИ), суммы органических кислот, растворимых сухих веществ, сахаров и т.д. Также существуют данные, указывающие на региональные особенности предпочтений некоторых аспектов вкуса как самих яблок, так и изготовленных из них соков.

Целью данного исследования было изучение взаимосвязей биохимических показателей и органолептических качеств соков, приготовленных из плодов яблони алтайской селекции.

МЕТОДЫ

Исследования проведены в лаборатории селекции плодовых и ягодных культур и лаборатории промышленных технологий Федерального Алтайского научного центра агробиотехнологий. Объектами послужили сортообразцы яблони-полукультурки алтай-

ской селекции ($F_2 - F_5 M. baccata$). Сбор плодов осуществлялся на участке первичного сортоизучения яблони лаборатории селекции плодовых и ягодных культур. Яблоки собирали в состоянии технической зрелости с разных частей кроны в стабильно сухую погоду. Исследования проводились в течение нескольких лет (2020–2024 гг.), для исключения эффекта года (погодных условий). Из плодов изготавливались натуральные нефилтрованные соки прямого отжима без добавления сахара, в соответствии с основными правилами, технологическими инструкциями и нормативными материалами по производству консервной продукции. Яблоки инспектировали (удаляли поврежденные, незрелые плоды, листья, ветки и другой сор), мыли и дробили (измельчали). Из полученной мякоти извлекали сок, доводили его до кипения, разливали горячим способом в стерилизованную стеклянную тару. Органолептическую оценку и биохимический анализ проводили после хранения (6 мес.). Дегустация проводилась комиссией закрытым методом. Оценивались органолептические качества соков («внешний вид», «вкус», «аромат»), «общая оценка» – как среднеарифметическое вышеперечисленного. Биохимический анализ образцов проводили по общепринятым для технологического сортоизучения методам: содержание сахаров – методом прямого титрования [15]; определение общей кислотности – титрованием с последующим пересчетом на яблочную кислоту [16]; общее содержание фенольных веществ – колориметрическим методом с реактивом Фолина–Чокальтеу.

Статистический анализ данных выполнен с помощью программного обеспечения Excel и IBMS PSS Statistics 23.0. с использованием дисперсионного (ANOVA) и регрессионного анализа. Для выявления

связей между параметрами использован тест ранговой корреляции Спирмена.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

В данном исследовании изучены контрольные сорта яблони (лучшие в районированном сортименте), а также отборные и элитные гибриды, выделенные по комплексу хозяйственно-полезных признаков, одним из которых является хороший и отличный вкус свежих плодов (4,1–4,7 баллов). Согласно методическим рекомендациям, из плодов изготовлены натуральные нефилтрованные соки без добавленных подсластителей. Цель исследования заключалась не в поиске лучшего сорта-образца для производства соков, а в изучении взаимосвязей между компонентами восприятия вкуса яблочных соков и их биохимическим составом.

Изготовленные соки обладали хорошим вкусом (4,5 балла), ароматом (4,6 балла) и внешним видом (4,4 балла), общая дегустационная оценка составила 4,5 балла (таблица 1). Органолептические качества соков в среднем показали низкую вариативность (9,1 %, 8,9 %, 8,7 % и 6,7 % соответственно), в то время как биохимические показатели варьировали на высоком и очень высоком уровне (10,5 %...91,0 %). Наиболее однородным биохимическим показателем в выборке оказалось общее содержание сахаров (средний коэффициент вариации 10,5 %). Коэффициент вариации общего содержания полифенолов оценивается как очень высокий (53,3 %), наибольшая степень варьирования среди изученных образцов отмечена у параметра СКИ и составила 91,0 %, что показывает высокую сортоспецифичность данного показателя.

Таблица 1 – Химико-органолептическая характеристика натуральных яблочных соков, 2020–2024 гг.

Table 1 – The chemical and organoleptic characteristics of natural apple juices from 2020 to 2024

Сорто-образец	Внешний вид, балл	Вкус, балл	Аромат, балл	Общая оценка, балл	Σ сахаров, %	Σ органических кислот, %	СКИ, ед.	Σ полифенолов, мг/дм ³
Алтайское багряное	4,4±0,4	4,3±0,4	4,6±0,3	4,4±0,3	12,5±0,1	0,9±0,4	16,2±7,0	1163,1±252,3
Алтайское зимнее	4,7±0,5	4,4±0,3	4,6±0,4	4,5±0,3	12,3±0,2	0,9±0,2	13,4±2,3	818,9±29,6
Алтайское румяное	4,3±0,4	4,3±0,4	4,5±0,4	4,4±0,3	11,8±0,7	1,0±0,1	11,7±0,5	850,9±212,4
10-99-1241	4,5±0,4	4,5±0,4	4,6±0,3	4,5±0,3	12,6±0,4	0,9±0,0	13,4±0,6	1382,7±219,1
13-99-898	4,7±0,3	4,6±0,4	4,6±0,4	4,6±0,3	11,7±0,6	0,1±0,0	90,3±25,1	639,2±213,5
19-99-2320	4,4±0,5	4,7±0,3	4,7±0,4	4,6±0,3	12,1±0,9	0,6±0,1	20,2±2,4	866,3±303,4
32-99-1927	4,5±0,4	4,6±0,4	4,6±0,3	4,6±0,3	12,0±0,5	0,6±0,1	19,1±1,5	403,6±149,2
9-03-4260	4,4±0,4	4,4±0,3	4,5±0,4	4,4±0,3	15,3±1,3	0,7±0,1	22,8±5,1	944,2±477,8
Со-97-588	4,4±0,5	4,7±0,3	4,7±0,4	4,6±0,3	13,6±2,1	0,6±0,1	22,3±4,2	560,8±78,1
Со-99-3091	4,3±0,4	4,7±0,3	4,6±0,3	4,5±0,2	12,4±0,4	0,3±0,1	47,6±12,5	2076,9±342,6
$\bar{X} \pm m$	4,4±0,4	4,5±0,4	4,6±0,4	4,5±0,3	12,4±1,3	0,7±0,3	27,9±25,4	982,1±523,9
V, %	9,1	8,9	8,7	6,7	10,5	42,9	91,0	53,3

Мнения исследователей о том, что является основным компонентом восприятия органолептических качеств яблочных соков, разнятся [2, 17–18]. Чаще всего в качестве основополагающего показателя упоминается СКИ (расчетный показатель отношения суммы сахаров к сумме органических кислот). Так, Zhang и др. выявили отрицательную корреляцию между восприятием вкуса яблочных соков и СКИ ($r = -0,68$), а также положительную ($r = 0,65$) с суммой органических кислот. Следует отметить, что высокие оценки «кислых» яблочных соков связаны в первую очередь с особенностью изученного авторами товарного сор-

тимента, характерного для рынка КНР – многие сорта, попавшие в выборку, содержат очень низкое количество органических кислот и рекомендация авторов использовать в соковом производстве сорта, СКИ которых ниже 40 ед., безусловно, логична. Для отечественного потребителя встреча с яблочными соками, СКИ которых ≥ 40 ед. является скорее исключением. Так объемные исследования, проведенные во ВНИИСПК, рекомендуют для сокового производства показания СКИ на уровне 15–20 ед., при среднем значении в 14–15 ед. [9–11, 19–21].

ВЛИЯНИЕ БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НА ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ КАЧЕСТВА НАТУРАЛЬНЫХ ЯБЛОЧНЫХ СОКОВ

Наши результаты частично подтверждают результаты, полученные в других лабораториях (рисунок 1). В ходе исследования выявлена умеренная положительная связь восприятия вкуса и общего количества сахаров ($r = 0,528$), а также СКИ ($r = 0,505$).



Рисунок 1 – Корреляционные пары химико-органолептических показателей яблочных соков

Figure 1 – The correlation pairs of chemical and organoleptic parameters of apple juices

В связи с тем, что корреляция вкуса и суммы органических кислот не выявлена, мы можем предположить, что взаимосвязь между восприятием вкуса и СКИ для изучаемых сортов происходит за счет сахаров, а не кислот. Кроме того, отличия в роли суммы сахаров (и тесноты связи) в образцах, исследованных нами и нашими зарубежными коллегами, можно объяснить предположительной разницей компонентного состава сахаров – сортоспецифичные различия в соотношении фруктозы, глюкозы, сахарозы и сорбита обуславливают разницу восприятия сладости вкуса, т.к. каждый из сахаров имеет характерный показатель сладости. Мировые исследования показывают, что в процессе одомашнивания общее содержание сахара в плодах яблони не изменилось, однако изменился их компонентный состав, а т.к. генетическая основа сортирента в разных регионах селекции отличается, различия в органолептическом восприятии сладости при одинаковых численных показателях суммы сахаров вполне оправдана [4, 12]. Коэффициент корреляции не подразумевает причинно-следственной связи, но понимание наличия и характера связи является важной частью сравнительного анализа компонентов. Наиболее тесные взаимосвязи отмечены между органолептическими качествами – так коэффициент корреляции между вкусом и внешним видом, а также вкусом и ароматом составили $r = 0,521$ и $r = 0,758$ соответственно, что позволяет предположить оценку дегустаторов более «сладких» соков как более ароматных и привлекательных (и наоборот).

Для уточнения взаимодействия органолептических качеств и компонентного состава соков проведен дисперсионный и регрессионный анализ. Предикторам восприятия вкуса достоверно являются сумма сахаров ($p \leq 0,0001$; $\beta = 0,383$), антипредиктором – сумма органических кислот ($p \leq 0,0001$; $\beta = -0,323$). Вклад биохимического состава в оценку дегустаторами внешнего вида составил $\beta = 0,374$ для суммы сахаров ($p \leq 0,0001$), $\beta = 0,300$ для сахарокислотного индекса ($p \leq 0,0001$) и $\beta = -0,151$ для суммы полифенолов ($p \leq 0,003$). Значимое влияние на оценку аромата выявлено только для суммы сахаров ($p \leq 0,0001$; $\beta = 0,374$).

Предположительно, улучшенные вкусовые качества плодов (высокие дегустационные оценки) связаны с меньшим содержанием полифенолов, а гене-

тические особенности изучаемых форм – с большим. Мы рассмотрели наличие взаимосвязей между высоким содержанием полифенолов и органолептическими характеристиками яблочных соков. Несмотря на то, что полифенольные соединения имеют большое влияние на органолептические качества ферментированных продуктов из яблок (таких как сидры и ферментированные напитки на основе яблочных соков) [13], корреляционной связи между вкусом и количеством в соках полифенолов в наших исследованиях не выявлено.

Тем не менее, высокое содержание полифенольных веществ не могло не оказать влияния на полученный продукт. Несмотря на то, что принятое мнение отрицательного влияния полифенольных соединений на вкусовые качества яблок не подтвердилось, наши исследования показали отрицательное влияние количества суммы полифенолов на внешний вид соков ($\beta = -0,151$, $p \leq 0,003$), что согласуется с физиологическими аспектами влияния полифенолов на потемнение яблок [14].

В соках с более высоким содержанием полифенолов наблюдалась опалесценция, они оценивались дегустаторами как «мутные» и менее привлекательной окраски (бурые, коричневые). Впрочем, больший вклад в восприятие внешнего вида внесли сахара и СКИ ($\beta = 0,374$, $p \leq 0,0001$ и $\beta = 0,300$, $p \leq 0,0001$ соответственно).

Таким образом, наши исследования показали взаимосвязи между воспринимаемыми дегустаторами органолептическими качествами. Среди биохимических показателей достоверное влияние на оценку вкусовых качеств выявлено для общего содержания сахаров и, в свою очередь, для отношения сахара к кислотам, выраженное в сахарокислотном индексе. Общее содержание полифенолов не оказало влияние на вкус и аромат, при этом отмечено слабое отрицательное влияние на внешний вид изученных яблочных соков.

ВЫВОДЫ

Все изученные образцы получили высокие вкусовые оценки 4,3–4,7 балла ($V = 8,9\%$), несмотря на значительную вариативность сахарокислотного индекса ($V = 91,0\%$) и суммы органических кислот ($V = 42,9\%$).

Самые высокие дегустационные оценки ($4,6 \pm 0,3$ балла) у образцов соков с общим содержанием сахаров 11,7–13,6 %, суммой органических кислот 0,1–0,6 %, СКИ 19,1–90,3 ед. и суммой полифенолов 403,6–866,3 мг/дм³.

При выявлении закономерностей между органолептическими качествами и биохимическими показателями обнаружено наличие взаимосвязей между органолептическими качествами соков. Среди биохимических показателей наиболее тесно со вкусом коррелирует общее количество сахаров в соке ($r = 0,528$). Выявлено достоверное значимое влияние суммы сахаров ($p \leq 0,0001$; $\beta = 0,383$) и суммы органических кислот ($p \leq 0,0001$; $\beta = -0,323$) на органолептические качества натуральных яблочных соков, при этом вклад сахаров в восприятие вкуса выше, чем кислот.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Health Benefits of Apple Juice Consumption: A Review of Interventional Trials on Humans / B. Vallée Marcotte [et al.] // *Nutrients*. 2022. № 14(4): 821. doi.org/10.3390/nu14040821.
2. Analysis of Selected Physicochemical Properties of Commercial Apple Juices / L. Rydzak [et al.] // *Processes*. 2020. № 8(11): 1457. doi.org/10.3390/pr8111457.
3. Unveiling Apple Diversity: The Quality of Juice Produced from Old vs. Commercial Apple Cultivars / A. Lončarić

[et al.] // *Plants*. 2023. № 12(21):3733. doi.org/10.3390/plants12213733.

4. Muhamedagić F., Šertović E., Cero M. Comparative Assessment of the Quality of Apple Juice Produced by Ecological and Technological Process // *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2023. Vol 707. Springer, Cham. P. 228–235. doi.org/10.1007/978-3-031-34721-4.

5. Калинина И.П., Ящемская З.С., Макаренко С.А. Селекция яблони на юге Западной Сибири. Новосибирск, 2010. 274 с.

6. Биохимическая и технологическая характеристика новых сортов-клонов яблони Сиверса из Джунгарского алау / Г.С. Муканова [и др.] // *Биология растений и садоводство: теория, инновации*. 2017. № 144(1). С. 203–207.

7. Биохимический состав фруктового суслу из мелкоплодных сортов яблони Южного Прибайкалья / Н.П. Супрун [и др.] // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2023. № 4(47). С. 611–620. doi.org/10.21285/2227-2925-2023-13-4-611-620.

8. Кох Д.А. Исследование химического состава сока из плодов мелкоплодных яблонь, произрастающих на территории Красноярского края // *Ползуновский вестник*. 2021. № 3. С. 30–34. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.03.004.

9. Седов Е.Н., Левгерова Н.С. Селекция сортов яблони для производства соков // *Аграрная наука*. 2012. № 4. С. 14–15.

10. Левгерова Н.С., Салина Е.С., Седов Е.Н. Перспективы использования новых сортов яблони в качестве сырья для производства соков // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2018. № 4. С. 19–22. doi.org/10.30850/vrsn/2018/4/19-22.

11. Салина Е.С., Седов Е.Н., Левгерова Н.С. Оценка и селекция сортов яблони для производства сока / под общ. ред. Седова Е.Н. // *Селекция и сортоведение садовых культур : сборник научных трудов. Орёл: ВНИИСПК, 2014. Том 1. С. 63–98.*

12. Evaluation of the Carbohydrate Composition of Crabapple Fruit Tissues Native to Northern Asia / Z. Stavitskaya [et al.] // *Plants*. 2023. № 12(19): 3472. doi.org/10.3390/plants12193472.

13. Apple cultivar-influenced differences in cider: A comprehensive analysis of physicochemical and aroma compounds / Ch. Zeng [et al.] // *Microchemical Journal*. 2025. Vol. 208: 112382. doi.org/10.1016/j.microc.2024.112382.

14. A difference of enzymatic browning unrelated to PPO from physiology, targeted metabolomics and gene expression analysis in Fuji apples / T. Tang [et al.] // *Postharvest Biology and Technology*. 2020. Vol. 170: 111323. doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111323.

15. ГОСТ 8756.13-87. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сахаров : введ. 1989-01-01. Москва, 2010, 12 с.

16. ГОСТ ISO 750-2013. Продукты переработки плодов и овощей. Определение титруемой кислотности: введ. 2015-07-01. Москва, 2019, 8 с.

17. Chemometric Classification of Apple Cultivars Based on Physicochemical Properties / M. Zhang [et al.] // *Foods*. 2023. № 12(16): 3095. doi.org/10.3390/foods12163095.

18. Chemometric Comparison and Classification of 22 Apple Genotypes Based on Texture Analysis and Physico-Chemical Quality Attributes / A.E. Mureşan [et al.] // *Horticulturae*. 2022. Vol. 8(1). doi.org/10.3390/horticulturae80100640.

19. Оценка иммунных к парше сортов и гибридов яблони на пригодность для производства сока / Н.С. Левгерова [и др.] // *Российская сельскохозяйственная наука*. № 6. С. 9–11.

20. Левгерова Н.С., Салина Е.С. Технологическая оценка сортов яблони нового поколения селекции ВНИИСПК для производства сока // *Научные труды Северо-*

Кавказского зонального научно-исследовательского института садоводства и виноградарства. 2016. Т. 10. С. 65–72.

21. Салина Е.С., Левгерова Н.С., Сидорова И.А. Сорта яблони селекции ВНИИСПК для использования в соковом производстве // *Селекция, генетика и сортовая агротехника плодовых культур : сборник научных статей. Орёл : Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, 2013. С. 39–43.*

Информация об авторах

Е. С. Троско – научный сотрудник Федерального Алтайского научного центра агробиотехнологий.

Ю. С. Гунина – научный сотрудник Федерального Алтайского научного центра агробиотехнологий.

О. Ю. Михайлова – научный сотрудник Федерального Алтайского научного центра агробиотехнологий.

Е. В. Скороспелова – научный сотрудник Федерального Алтайского научного центра агробиотехнологий.

REFERENCES

1. Vallée Marcotte, B., Verheyde, M., Pomerleau, S., Doyen, A. & Couillard, C. (2022). Health Benefits of Apple Juice Consumption: A Review of Interventional Trials on Humans. *Nutrients*, 14(4), 821. doi.org/10.3390/nu14040821.

2. Rydzak, L., Kobus, Z., Nadulski, R., Wilczyński, K., Pecyna, A., Santoro, F., Sagan, A., Starek-Wójcicka, A., & Krzywicka, M. (2020). Analysis of Selected Physicochemical Properties of Commercial Apple Juices. *Processes*, 8(11), 1457. https://doi.org/10.3390/pr8111457.

3. Lončarić, A., Flanjak, I., Kovač, T., Tomac, I., Skoko, A.-MG., Babojelić, MS., Fruk, G., Zrinušić, SZ., Čiček, D. & Babić, J. (2023). Unveiling Apple Diversity: The Quality of Juice Produced from Old vs. Commercial Apple Cultivars. *Plants*, 12(21), 3733. doi.org/10.3390/plants12213733.

4. Muhamedagić, F., Šertović, E. & Cero, M. (2023). Comparative Assessment of the Quality of Apple Juice Produced by Ecological and Technological Process. *Lecture Notes in Networks and Systems*, (707), 228-235. doi.org/10.1007/978-3-031-34721-4.

5. Kalinina, I.P., Yashemskaya, Z.S. & Makarenko, S.A. (2010). Apple tree breeding in the south of Western Siberia. Novosibirsk. (In Russ.).

6. Mukanova, G.S., Sankaibayeva, A.G., Shadmanova, L.Sh. & Kudzhabergenova, Sh.N. (2017). Biochemical and technological characteristics of new clone varieties of the Siversapple tree from the Dzungarian Alatau. *Plantbiology and horticulture: theory, innovation*, (144(1)). (In Russ.).

7. Suprun, N.P., Gusakova, G.S., Anikina, N.S. & Slasya, E.A. (2023). Biochemical composition of fruitwort from small-fruited apple varieties of the Southern Baikal region. *Izvestiya vuzov. Applied Chemistry and Biotechnology*, 4(47), 611-620. (In Russ.). doi.org/10.21285/2227-2925-2023-13-4-611-620.

8. Koh, D.A. (2021). Investigation of the chemical composition of juice from the fruits of small-fruited apple trees growing in the Krasnoyarsk Territory. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 30-34. (In Russ.). doi:10.25712/ASTU.2072-8921.2021.03.004.

ВЛИЯНИЕ БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НА ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ КАЧЕСТВА НАТУРАЛЬНЫХ ЯБЛОЧНЫХ СОКОВ

9. Sedov, E.N. & Levgerova, N.S. (2012). Selection of apple tree varieties for juice production. *Agricultural science*, (4), 14-15. (In Russ.).
10. Levgerova, N.S., Salina, E.S. & Sedov, E.N. (2018). Prospects of using new varieties of apple trees as raw materials for juice production. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*, (4), 19-22. (In Russ.). doi.org/10.30850/vrsn/2018/4/19-22.
11. Salina, E.S., Sedov, E.N. & Levgerova, N.S. (2014). Evaluation and selection of apple tree varieties for juice production. Breeding and cultivar breeding of garden crops: a collection of scientific papers. E.N. Sedov (Ed.). Orel: VNIISPK, (1), 63-98. (In Russ.).
12. Stavitskaya, Z., Dudareva, L., Rudikovskii, A., Garkava-Gustavsson, L., Shabanova, E., Levchuk, A. & Rudikovskaya, E. (2023). Evaluation of the Carbohydrate Composition of Crabapple Fruit Tissues Native to Northern Asia. *Plants*, 12(19), 3472. doi.org/10.3390/plants12193472.
13. Zeng, Ch., Mu, Y., Yuan, J., Zhang, H., Song, J. & Kang, S. (2025). Apple cultivar-influenced differences in cider: A comprehensive analysis of physicochemical and aroma compounds. *Microchemical Journal*, (208), 112382. doi.org/10.1016/j.microc.2024.112382.
14. Tang, T., Xie, X., Ren, X., Wang, W., Tang, X., Zhang, J. & Wang, Zh. (2020). A difference of enzymatic browning unrelated to PPO from physiology, targeted metabolomics and gene expression analysis in Fuji apples. *Postharvest Biology and Technology*, (170), 111323. doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111323.
15. Fruit and vegetable processing products. Methods for determining sugars. (2010). HOST 8756.13-87 from 1 January 1989. Moscow. (In Russ.).
16. Fruit and vegetable processing products. Determination of titratable acidity. (2019). HOST ISO 750-2013 from 01 July 2015. Moscow. (In Russ.).
17. Zhang, M., Yin, Y., Li, Y., Jiang, Y., Hu, X. & Yi, J. (2023). Chemometric Classification of Apple Cultivars Based on Physicochemical Properties: Raw Material Selection for Processing Applications. *Foods*, 12(16), 3095. doi.org/10.3390/foods12163095.
18. Mureșan, A.E., Sestras, A.F., Militaru, M., Păucean, A., Tanislav, A.E., Pușcaș, A., Mateescu, M., Mureșan, V., Marc, R.A. & Sestras, R.E. (2022). Chemometric Comparison and Classification of 22 Apple Genotypes Based on Texture Analysis and Physico-Chemical Quality Attributes. *Horticulturae*, 8(1), 64. doi.org/10.3390/horticulturae80100640.
19. Levgerova, N.S., Sedov, E.N., Salina, E.S. & Serova, Z.M. (2016). Assessment of scab-immune apple tree varieties and hybrids for suitability for juice production. *Russian Agricultural Sciences*, (6), 9-11. (In Russ.).
20. Levgerova, N.S. & Salina, E.S. (2016). Technological assessment of apple varieties of a new generation of VNIISPK breeding for juice production. *Scientific papers of the North Caucasus Zonal Scientific Research Institute of Horticulture and Viticulture*, (10), 65-72. (In Russ.).
21. Salina, E.S., Levgerova, N.S. & Sidorova, I.A. (2013). Apple tree varieties selected by VNIISPK for use in juice production. *Collection of scientific articles «Breeding, genetics and varietal agrotechnics of fruit-crops»*. Orel: All-Russian Scientific Research Institute of Fruit Crop Breeding, 39-43. (In Russ.).

Information about the authors

E.S. Trosko - Researcher at the Federal Altai Scientific Center of agrobiotechnologies.
Yu.S. Gunina - Researcher at the Federal Altai Scientific Center of agrobiotechnologies.
O.Yu. Mikhailova - Researcher at the Federal Altai Scientific Center of agrobiotechnologies.
E.V. Skorospelova - Researcher at the Federal Altai Scientific Center of agrobiotechnologies.

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

*Статья поступила в редакцию 22 октября 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.
The article was received by the editorial board on 22 Oct 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.*



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.769

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.020



ЭМПИРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КУКУРУЗНО-МОРКОВНЫХ ЭКСТРУДАТОВ

Алена Николаевна Гуляева¹, Марианна Сергеевна Воронина²

^{1,2} ФГБОУ ВО Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

¹ nikol163@bk.ru

² marianna419@rambler.ru

Аннотация. Кукурузную муку и смесь морковных выжимок экструдировали для исследования влияния процесса экструзии на общее содержание фенольных соединений (ОСФ), антиоксидантную активность (АА) и некоторые отдельные функционально-технологические свойства экструдатов. Исследования проводились для трех уровней содержания морковной муки (10 %, 20 %, 30 %), влажности сырья (15 %, 20 %, 25 %), температуры экструзии 120 °С и скорости шнека (100, 150, 200 об/мин) в качестве параметров экструзии. Более высокое содержание муки и влажность сырья благоприятствовали выделению из сырья общего содержания фенольных соединений с высокой антиоксидантной активностью. На индекс водопоглощения влияли высокая влажность сырья и низкая скорость шнека, индекс водорастворимости увеличивался при более высоком процентном содержании морковной муки и температуре экструзии, при низкой влажности сырья и скорости шнека. Оптимальные условия: 30 % содержание морковной муки, 25 % влажность сырья и 100 об/мин скорость шнека, общее содержание фенольных соединений и антиоксидантная активность экструдированных продуктов составляли 175 мг галловой кислоты/100 г СВ и 326,8 мг/мл ЕС50/100 г СВ соответственно, тогда как в контрольных экструдатах эти количества составляли 132,1 мг галловой кислоты/100 г СВ и 305,5 мг/мл ЕС50/100 г СВ соответственно.

Ключевые слова: экструзия, морковь, кукурузная крупа, экструдат, свойства, водорастворимость, водопоглощение.

Благодарности: автор выражает признательность коллегам за помощь, благодарность за финансовую поддержку исследования.

Для цитирования: Гуляева А. Н., Воронина М. С. Эмпирическое исследование функционально-технологических свойств кукурузно-морковных экструдатов // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 124–128. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.020. EDN: <https://elibrary.ru/EZNLLZ>.

Original article

EMPIRICAL STUDY OF FUNCTIONAL AND TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF CORN-CARROT EXTRUDATES

Alena Nikolaevna Gulyaeva¹, Marianna Sergeevna Voronina²

¹ FSBEI HE Samara State Technical University, Samara, Russia

¹ nikol163@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3299-1470>

² marianna419@rambler.ru

Abstract. Corn flour and carrot pomace mixture were extruded to study the effect of the extrusion process on the total phenolic content (TPC), antioxidant activity (AA) and some individual functional and technological properties of the extrudates. The studies were conducted for three levels of carrot flour content (10 %, 20 %, 30 %), raw material moisture (15 %, 20 %, 25 %), extrusion temperature of 120 °C and screw speed (100, 150, 200 rpm) as extrusion parameters. Higher flour content and raw material moisture favored the release of total phenolic content with high antioxidant activity from the raw material. The water absorption index was affected by high raw material moisture and low screw speed, the water solubility index increased at higher percentage of carrot flour and extrusion temperature, at low raw material moisture and screw speed. Under optimal conditions: 30 % carrot flour content, 25 % raw material moisture and 100 rpm screw speed, the total phenolic content and antioxidant activity of the extruded products were 175 mg gallic acid/100 g DM and 326,8 mg/ml EC50/100 g DM, respectively, while in the control extrudates these amounts were 132,1 mg gallic acid/100 g DM and 305,5 mg/ml EC50/100 g DM, respectively.

Keywords: extrusion, carrot, corn grits, extrudate, properties, water solubility, water absorption.

Acknowledgements: the author expresses gratitude to his / her colleagues for their help, thanks for the financial support of the research.

For citation: Gulyaeva, A.N. & Voronina, M.S. (2025). Empirical study of functional and technological properties of corn-carrot extrudates. Polzunovskiy vestnik, (3), 124-128. (In Russ). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.020. EDN: <https://elibrary.ru/EZNLLZ>.

© Гуляева А. Н., Воронина М. С., 2025

ЭМПИРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КУКУРУЗНО-МОРКОВНЫХ ЭКСТРУДАТОВ

ВВЕДЕНИЕ

Процесс экструзии является важной технологической обработкой зерновых продуктов, таких как снеки и сухие завтраки, с изменением текстуры. Экструзия – это непрерывный процесс, состоящий из смешивания, резки, нагревания, варки и формования исходного материала. Экструзионная варка – привлекательный процесс в пищевой промышленности, т.к. он универсален, высокопроизводителен, качественен, низкий по стоимости, энергоэффективен, возможно спроектировать изделия заданной формы [1].

Экструзионная варка вызывает изменение физико-химических и функциональных свойств, которые также зависят от сырья и переменных показателей процесса экструзии, таких как влажность сырья, скорость и конфигурация шнека, геометрия матрицы, температура и время [2].

Целью исследования было изучить влияние включения морковной муки и переменных показателей процесса экструзии (влажность сырья и скорость шнека) на антиоксидантные свойства (общее содержание фенольных соединений, антиоксидантную активность) и функциональные свойства (показатель водопоглощения, показатель водорастворимости) экструдированных продуктов.

МЕТОДЫ

Объектами исследования выступают кукурузная крупа и морковная мука. Химический состав всех ингредиентов приведен в таблице 1.

Смеси были составлены из кукурузной крупы и морковной муки в соотношениях 90:10, 80:20 и 70:30 соответственно.

Эксперименты по экструзии проводили на одношнековом экструдере. Экструдер имел диаметр

шнека 19 мм с соотношением длины к диаметру 30:1, номинальной степенью сжатия 3:1 и отверстием матрицы 3 мм. Температуру зоны подачи поддерживали постоянной на уровне 50 °С на протяжении всех экспериментов. Параметрами экструзии, включающими независимые переменные, скорость шнека (100, 150 и 200 об/мин) и влажность сырья 10, 15 и 25 %.

Экстракцию образца для определения общего содержания фенольных соединений и антиоксидантной активности: 1 г образца смешивали с 10 мл этилового спирта ректификованного с дистиллированной водой (1:1), встряхивали на низкой скорости в течение 1 ч и затем центрифугировали при 3000 об/мин в течение 20 мин. Супернатант декантировали и остаток повторно экстрагировали. Два супернатанта объединяли и хранили при 20 °С для анализа общего содержания фенольных соединений и антиоксидантной активности [3].

Общее содержание фенольных соединений (ОСФ) образца определяли методом Фолина-Чокальтеу с некоторыми модификациями. К 50 мкл экстракта образца добавляли 3,5 мл дистиллированной воды и 150 мкл реагента Фолина-Чокальтеу. Раствор перемешивали и выдерживали в течение 30 мин при 37 °С. После этого измеряли поглощение раствора при 760 нм против холостого образца. Контрольный раствор содержал все компоненты, присутствовавшие в образце, за исключением экстракта. Галловую кислоту использовали в качестве положительного контроля (стандарта), и для стандарта строили зависимость между поглощением и концентрацией окрашенных соединений. Эту стандартную кривую использовали для расчета концентрации образца, а данные выражали в мг эквивалента галловой кислоты (галловой кислоты)/100 г сухого веса (СВ). Этот анализ проводили в трех повторностях [3].

Таблица 1 – Химический состав сырья перед процессом экструзии [2]

Table 1 – Chemical composition of raw materials before the extrusion process [2]

Компонент, г/100 г	Кукурузная крупа	Морковная мука
Содержание влаги	10,3±0,23	12,1±0,21
Минеральные вещества	0,93±0,06	0,9±0,03
Жиры	1,20±0,09	0,1±0,07
Белки	6,18±0,77	1,5±0,05
Крахмал	84,7±2,46	0,6±0,01
Общее количество пищевых волокон	2,57±0,01	3,8±0,04
- растворимые	0,91±0,01	0,8±0,04
- нерастворимые	1,66±0,01	3,0±0,04

Таблица 2 – Определение эффектов и оптимальных уровней экспериментальных параметров по методу Бокса-Бенкена

Table 2 – Determination of effects and optimal levels of experimental parameters using the Box-Behnken method

Уровень	Содержание морковных выжимок	Влажность сырья	Скорость шнека	Уровень	Содержание морковных выжимок	Влажность сырья	Скорость шнека
1	-1	-1	0	12	0	0	+1
2	+1	0	-1	13	0	0	0
3	+1	0	0	14	0	+1	+1
4	0	+1	-1	15	0	-1	0
5	-1	0	-1	16	+1	0	+1
6	0	0	-1	17	-1	+1	0
7	+1	0	0	18	0	-1	-1
8	-1	0	+1	19	+1	+1	0
9	-1	0	0	20	0	+1	0
10	-1	0	0	21	+1	-1	0
11	0	+1	0	22	0	-1	+1
Переменные				Уровни			
				-1	0	+1	
Содержание морковной муки, %				10	20	30	
Влажность сырья, %				10	15	25	
Скорость шнека, об/мин				100	150	200	

Таблица 3 – Оцененные оптимальные условия, прогнозные и экспериментальные значения реакций процесса экструзии
 Table 3 – Estimated optimal conditions, predicted and experimental values of reactions of the extrusion process

Образцы	Оптимальные условия				Антиоксидантные свойства				Функциональные свойства			
	Содержание выжимок, %	Влажность, %	Температура, °С	Скорость шнека, об/мин	Общее содержание фенольных соединений, мг ГК/100 г СВ		Антиоксидантная активность, мг/мл E_{c50} /100 г СВ		Индекс водопоглощения, г/г СВ		Индекс водорастворимости, г/100 г СВ	
					теор	факт	теор	факт	теор	факт	теор	факт
Экструдат	30	29	75	100	131,4	175	327,4	326,8	2,48	2,50	21,6	21,1
Контрольный образец						132,1		305,5		6,18		15,4
Смесь						171,6		381,8		-		-

Антиоксидантная активность

Анализ DPPH представляет собой активность по улавливанию свободных радикалов. Раствор 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила (ДФПГ) готовили добавлением 7,9 мг ДФПГ в 200 мл этилового спирта ректификованного. 125 мкл экстракта смешивали с 2 мл этанола и к 0,5 мл этого раствора добавляли 3 мл DPPH. Раствор перемешивали и выдерживали в течение 30 мин. После этого измеряли поглощение раствора и контроля (DPPH) при 517 нм относительно холостого раствора (этанола). Результаты выражали в мг/мл E_{c50} /100 г СВ. Образцы анализировали в трех повторностях [3].

Содержание влаги

Содержание влаги в образцах определяли стандартными методами в сушильном шкафу. Первоначально 5 г образца в трех экземплярах сушили с горячим воздухом при температуре 130–133 °С в течение 2 часов. После высушивания высушенный образец еще раз взвешивали. Следующая формула используется для расчета содержания влаги (W).

$$W(\%wb) = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100,$$

где W_i – начальный вес образца (5 г),

W_f – масса образца после высушивания, г.

Индекс водопоглощения (ИВП) и индекс водорастворимости (ИВР)

Для определения ИВП и ИВР экструдатов применяли следующую методику. Измельченные экструдаты (2,5 г) суспендировали в дистиллированной воде (30 мл) в центрифужной пробирке емкостью 60 мл. Суспензию периодически перемешивали и центрифугировали при 3000⁻¹ в течение 10 мин. Надосадочную жидкость декантировали в алюминиевую чашку и сушили при 135 °С в течение 2 часов. Измеряли массу геля, оставшегося в центрифужной пробирке. ИВП и ИВР были рассчитаны по:

$$ИВП = \frac{W_g}{W_{ds}} \times 100,$$

где ИВП – показатель водопоглощения,

W_g – масса геля (г),

W_{ds} – масса сухого образца (г).

$$ИВР = \frac{W_{ss}}{W_{ds}} \times 100,$$

где ИВР – показатель растворимости в воде (%),

W_{ss} – масса сухих твердых веществ надосадочной жидкости (г),

W_{ds} – масса сухого образца (г) [4].

Определение оптимальных условий экструзии

В экспериментах по экструзии применяли способ Бокса-Бенкена для определения эффектов и оптимальных уровней экспериментальных параметров. Эффекты изучались на трех экспериментальных уровнях –1, 0 и +1. Всего потребовалось 20 экспериментов, как описано в таблице 2.

Экспериментальные данные были проанализированы с помощью метода регрессии поверхности отклика, а параметры, полученные в результате анализа методологии поверхности отклика (МПО), были подставлены в следующее уравнение полиномиальной модели второго порядка.

$$Y_i = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=i+1}^k \beta_{ij} X_i X_j,$$

где Y_i – прогнозируемый ответ;

β_0 – коэффициент перехвата;

β_i , β_{ii} и β_{ij} – коэффициенты линейных, квадратичных членов и членов взаимодействия;

X_i и X_j – переменные;

k – количество независимых параметров ($k = 3$).

Статистический анализ

Для оценки экспериментальных данных использовали множественный регрессионный анализ и дисперсионный анализ (МРАДА). Моделирование началось с квадратичной модели, включающей линейные, квадратичные условия взаимодействия. Значимые члены модели для каждого ответа были найдены с помощью МРАДА. Адекватность и качество моделей проверялись путем оценки несоответствия (ОН), коэффициента детерминации R^2 и значения p , полученного из МРАДА. Методология желаемых функций Дерринджера была использована для создания оптимальных условий для переменных процесса экструзии по всем свойствам экструдированных продуктов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Методика поверхности отклика была использована для анализа влияния параметров экструзии на антиоксидантные и функциональные свойства экструдированных продуктов.

Коэффициенты регрессии математических моделей описывают все экспериментальные реакции в зависимости от соотношения морковных выжимок (X_1), влажности сырья (X_2) и скорости шнека (X_3) для процесса экструзии.

Линейные и квадратичные члены содержания морковных выжимок и скорости вращения шнека экструзии значимо ($p < 0,05$) и влияют на общее содер-

ЭМПИРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КУКУРУЗНО-МОРКОВНЫХ ЭКСТРУДАТОВ

жение фенольных соединений и антиоксидантную активность. Определенные значения общего содержания фенольных соединений и антиоксидантной активности находились в пределах 66,3–177,5 мг галловой кислоты/100 г сухой массы и 124,2–336,8 мг/мл Ес50/100 г СВ соответственно.

На рисунке 1 представлены графики поверхности отклика, отражающие влияние содержания морковных выжимок, влажности сырья и скорости вращения шнека на общее содержание фенольных соединений в экструдатах. Графики для антиоксидантной активности не приведены, поскольку её изменения коррелировали с динамикой общего содержания фенольных соединений. Тенденция, наблюдаемая для общего содержания фенольных соединений при одновременном изменении содержания морковных выжимок и скорости вращения экструдера, показана на рисунке 1. Общее содержание фенольных соединений экструдатов увеличивалась на 62 % при повышении скорости вращения от 80 до 100 об/мин независимо от уровня содержания морковных выжимок.

Что касается влияния влажности сырья и скорости вращения шнека на общее содержание фенольных соединений, предполагается, что увеличение влажности сырья с 10 до 25 % вызывает значительное ($p < 0,05$) увеличение общего содержания фенольных соединений на 20 %.

Из МРАДА видно, что на ИВП значительно ($p < 0,05$) влияли линейные члены влажность сырья, скорость шнека и влажность сырья. Функциональные свойства экструдатов ИВП, ИВР наблюдались в диапазоне 2,05–4,76 г/г сухой массы и 9,28–22,8 г/100 г сухой массы соответственно.

Водопоглощение обычно связывают с дисперсией крахмала в избытке воды, и дисперсия увеличивается в зависимости от степени повреждения крахмала из-за желатинизации и фрагментации, вызванной экструзией, то есть уменьшения молекулярной массы молекул амилозы и амилопектина.

Результаты, касающиеся влияния скорости шнека на ИВП, показали, что по мере увеличения скорости шнека от 100 до 200 об/мин ИВП увеличивался на 33 %.

Что касается влияния содержания морковных выжимок и скорости шнека на ИВР, было замечено: при увеличении содержания морковных выжимок с 10 % до 30 % ИВР экструдатов увеличивался на 28 % при низкой скорости вращения шнека (100 об/мин). Более высокий показатель ИВР при более высоком содержании морковных выжимок можно объяснить присутствием низкомолекулярных соединений, т.е. присутствие растворимой клетчатки в выжимках вызывает увеличение ИВР в экструдатах.

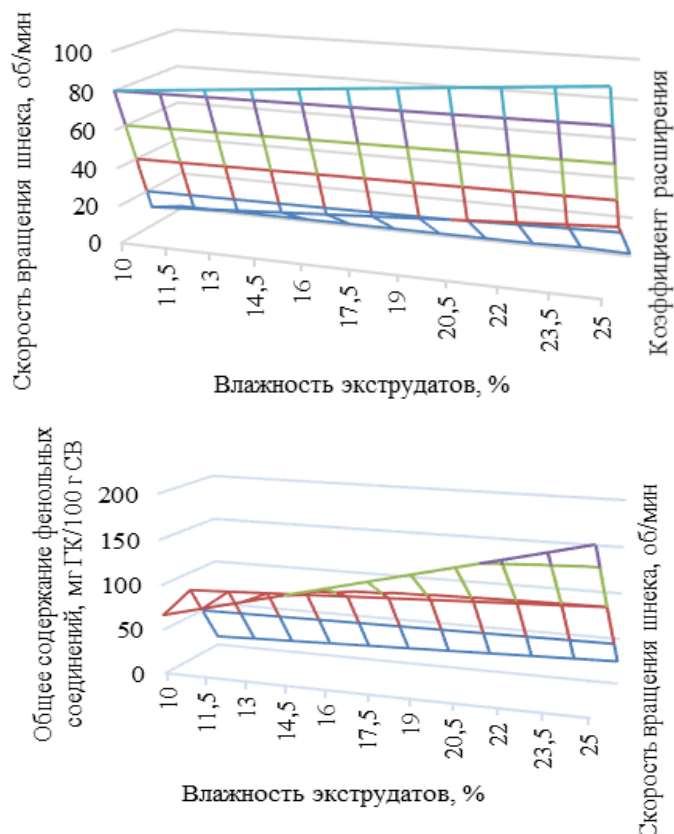


Рисунок 1 – Графики поверхности отклика общего содержания фенольных соединений (ОСФ), коэффициента расширения (КР), зависящие от влажности экструдатов (W) и скорости вращения шнека экструдера (ω) при соответствующем нулевом кодированном уровне двух других переменных

Figure 1 – Response surface plots of total phenol content (TPC), coefficient of expansion (CE) as a function of extrudate moisture content (W) and extruder screw speed (ω) at the corresponding zero coded level of the other two variables

ОБСУЖДЕНИЕ

Оптимальные условия процесса были исследованы для переменных процесса экструзии путем максимизации общего содержания фенольных соединений, антиоксидантной активности, ИВР и минимизации ИВП. В таблице 3 указаны оптимизированные условия процесса экструзии, а также прогнозируемые и экспериментальные переменные отклика. Прогнозируемые результаты хорошо согласуются с экспериментальными результатами.

Экструдированные продукты при оптимальных условиях экструзии без введения морковных выжимок называются контрольными экструдатами. Из таблицы 3 видно, что общее содержание фенольных соединений и антиоксидантная активность экструдатов, полученных с использованием выжимок, называемых экструдатами, показали на 12 % и 7 % больше общего содержания фенольных соединений и антиоксидантной активности соответственно по сравнению с контрольными экструдатами.

ИВП является функцией внутренних пустот в образце и толщины клеточных стенок пустот. Добавление выжимок моркови изменило структуру пустот в смеси и, таким образом, могло повлиять на ИВП конечных экструдатов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экструдированные продукты, полученные путем экструзии кукурузной муки с добавлением морковных выжимок, продемонстрировали более высокие показатели общего содержания фенольных соединений и антиоксидантной активности. Основное влияние на общее содержание фенольных соединений и антиоксидантную активность экструдатов оказывали концентрация морковных выжимок и температура экструзии.

Как очевидно, содержание морковных выжимок оказало положительное влияние, тогда как температура оказала отрицательное влияние на общее содержание фенольных соединений и антиоксидантную активность экструдатов. Более низкие влажность сырья, температура экструзии и скорость шнека благоприятствовали низкому ИВП, тогда как ИВР становился больше с увеличением содержания морковных выжимок, температуры экструзии и уменьшением влажности сырья, скорости шнека. Благодаря улучшенным антиоксидантным свойствам включение морковных выжимок во время экструзии может представлять интерес для разработки различных обогащенных продуктов питания в будущем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mohammed S.A., Raouf A. Extrusion for the Production of Functional Foods and Ingredients / Innovative Food Processing Technologies. (2021). 22–35. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.23041-2>.
2. Chiara R. Extrusion-cooking affects oat bran physicochemical and nutrition-related properties and increases its β -glucan extractability / Chiara R., Eline V.W., Muriel H.,

Yamina D.B., H       C., Roberto K., Lisa M.L., Christophe M.C. // Journal of Cereal Science. (2021). <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2021.103360>.

3. Гуляева А.Н., Воронина М.С. (2020). Разработка методологии повышения пищевой ценности полуфабрикатов для мучных кондитерских изделий. Инновации и продовольственная безопасность. № 3. 7–13. <https://doi.org/10.31677/2311-0651-2020-29-3-7-13>.

4. Остриков А.Н. [и др.]. Экструзия в пищевой технологии / А.Н. Остриков, О.В. Абрамов, А.С. Рудометкин. СПб.: ГИОРД, 2004. 288 с.

5. Афанасьев В.А., Фролова Л.Н., Сизиков К.А., Остриков А.Н., Зобова С.Н. Математическая модель процесса экструзии зерновых культур при неизотермическом течении их расплава до температуры начала реакции Майяра // Вестник ВГИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 23–29. Doi: 10.20914/2310-1202-2021-1-23-29.

Информация об авторах

А. Н. Гуляева – аспирант, старший преподаватель Высшей биотехнологической школы, Самарский государственный технический университет.

М. С. Воронина – к.т.н., доцент, доцент Высшей биотехнологической школы, Самарский государственный технический университет.

REFERENCES

1. Mohammed, S.A., Raouf, A. (2021). Extrusion for the Production of Functional Foods and Ingredients. Innovative Food Processing Technologies 22–35. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.23041-2>.
2. Chiara, R., Eline, V.W., Muriel, H., Yamina, D.B., H       C., Roberto, K., Lisa, M.L. (2021). Extrusion-cooking affects oat bran physicochemical and nutrition-related properties and increases its β -glucan extractability / Christophe, M.C. Journal of Cereal Science <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2021.103360>.
3. Gulyaeva, A.N., Voronina, M.S. (2020). Development of a methodology for increasing the nutritional value of semi-finished products for flour confectionery. Innovations and Food Security. No. 3. 7–13. <https://doi.org/10.31677/2311-0651-2020-29-3-7-13>. (In Russ.).
4. Ostrikov, A.N., Abramov, O.V., Rudometkin, A.S. (2004). Extrusion in food technology. SPb.: GIORД, 2004. 288 p. (In Russ.).
5. Afanasyev, V.A., Frolova, L.N., Sizikov, K.A., Ostrikov, A.N., Zobova, S.N. (2021). Grain crops extrusion process mathematical model at a non-isothermal flow of their melt up to the temperature of the Maillard reaction start // Vestnik VGIТ. 2021. Vol. 83. No. 1. Pp. 23–29. Doi: 10.20914/2310-1202-2021-1- 23-29. (In Russ.).

Information about the authors

A.N. Gulyaeva - postgraduate student, senior lecturer of the Higher School of Biotechnology, Samara State Technical University.

M.S. Voronina - PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Higher School of Biotechnology, Samara State Technical University.

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

Статья поступила в редакцию 22 октября 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 22 Oct 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК664

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.021



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ОВОЩЕЙ ПЕРЕД СУШКОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ПОЛЯМИ КРАЙНЕ НИЗКИХ ЧАСТОТ

Григорий Анатольевич Купин¹, Татьяна Викторовна Першакова²,
Анна Анатольевна Тягушева³, Елизавета Сергеевна Семиряжко⁴

^{1, 2, 3, 4} Краснодарский научно-исследовательский институт – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», Краснодар, Россия

¹ Griga_77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7780-3333>

² 7999997@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8528-0966>

³ 777any777@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1236-1148>

⁴ e.glazacheva@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2750-5749>

Аннотация. В настоящее время одним из способов консервирования сельскохозяйственного растительного сырья является сушка, в результате которой происходит длительное сохранение нативных свойств продукта. Однако существующие технологии сушки не всегда обеспечивают достаточную сохранность потребительских свойств. В связи с этим, необходимость разработки эффективных методов предварительной обработки растительного сырья перед сушкой, направленных на снижение потерь и сохранение качества продукции, является актуальной задачей. В частности, применение электромагнитных полей крайне низких частот представляет собой перспективный подход к решению этой проблемы. Благодаря ранее проведенным исследованиям установлено, что предварительная обработка электромагнитными полями благоприятно влияет на сохранение его физико-химических показателей и выбор оптимальных параметров обработки электромагнитного воздействия является важным этапом данного процесса, вследствие чего параметры обработки должны быть подобраны индивидуально для каждого продукта. В результате проведенных исследований выявлено, что предварительная обработка электромагнитными полями крайне низких частот моркови, капусты и кабачков снижает индекс поверхностных повреждений, замедляет потерю массы и сдерживает снижение твердости по сравнению с контролем. Отмечены общие положительные тенденции влияния электромагнитных полей крайне низких частот на биохимический состав овощей. Наблюдалось замедление снижения витамина С (морковь – на 5,7 %, капуста – на 2,7 %, кабачки – на 21,5 %), увеличение содержания общих и редуцирующих сахаров, а также концентрации растворимых сухих веществ. На основе полученных данных были определены оптимальные параметры электромагнитного воздействия для: моркови сорта Аркадия (10 мТл, 40 Гц, 10 мин); капусты сорта Бригадир (10 мТл, 24 Гц, 20 мин); кабачков гибрида Искандер (3 мТл, 40 Гц, 10 мин).

Ключевые слова: морковь столовая, капуста белокочанная, кабачки, электромагнитные поля крайне низких частот, убыль массы, индекс поверхностных повреждений, твердость, физико-химические показатели, оптимальные режимы.

Для цитирования: Определение оптимальных параметров предварительной обработки овощей перед сушкой электромагнитными полями крайне низких частот / Г. А. Купин [и др.] // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 129–135. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.021. EDN: <https://elibrary.ru/YKRLGO>.

Original article

DETERMINING OPTIMAL PARAMETERS OF PRE-TREATMENT OF VEGETABLES BEFORE DRYING BY ELECTROMAGNETIC FIELDS OF EXTREMELY LOW FREQUENCIES

Grigory A. Kupin¹, Tatyana V. Pershakova², Anna A. Tyagushcheva³,
Elizaveta S. Semiryazhko⁴

^{1, 2, 3, 4} Krasnodar Research Institute - branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "North Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, Winemaking", Krasnodar, Russia

¹ Griga_77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7780-3333>

² 7999997@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8528-0966>

³ 777any777@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1236-1148>

⁴ e.glazacheva@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2750-5749>

© Купин Г. А., Першакова Т. В., Тягушева А. А., Семиряжко Е. С., 2025

Abstract. Currently, one of the methods for preserving agricultural plant raw materials is drying, which results in long-term preservation of the native properties of the product. However, existing drying technologies do not always ensure sufficient preservation of consumer properties. In this regard, the need to develop effective methods for preliminary processing of plant materials before drying, aimed at reducing losses and maintaining product quality, is an urgent task. In particular, the use of extremely low-frequency electromagnetic fields is a promising approach to solving this problem. Thanks to previous studies, it was found that preliminary treatment with electromagnetic fields has a beneficial effect on the preservation of its physicochemical indicators and the choice of optimal parameters for processing electromagnetic exposure is an important stage of this process, as a result of which the processing parameters should be selected individually for each product. As a result of the studies, it was found that preliminary treatment with extremely low-frequency electromagnetic fields of carrots, cabbage and zucchini reduces the surface damage index, slows down weight loss and restrains a decrease in hardness compared to the control. General positive trends in the effect of extremely low-frequency electromagnetic fields on the biochemical composition of vegetables are noted. A slowdown in the decrease of vitamin C was observed (carrots - by 5.7%, cabbage - by 2.7%, zucchini - by 21.5%), an increase in the content of total and reducing sugars, as well as the concentration of soluble dry substances. Based on the data obtained, the optimal parameters of electromagnetic exposure were determined for: carrots of the Arcadia variety (10 mT, 40 Hz, 10 min); cabbage of the Brigadir variety (10 mT, 24 Hz, 20 min); zucchini hybrid Iskander (3 mT, 40 Hz, 10 min).

Keywords: carrots, white cabbage, zucchini, extremely low frequency electromagnetic fields, weight loss, surface damage index, hardness, physical and chemical parameters, optimal conditions.

For citation: Kupin, G.A., Pershakova, T.V., Tyagushcheva, A.A. & Semiryazhko, E.S. (2025). Determination of optimal parameters for pre-treatment of vegetables before drying with electromagnetic fields of extremely low frequencies. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 129-135. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.021. EDN: <https://elibrary.ru/YKRLGO>.

ВВЕДЕНИЕ

Обоснованием актуальности выбранной темы исследования служат цели и задачи, которые обозначены для научного сообщества и специалистов в основополагающих программных документах: «Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации до 2030 года», «Прогноз научно-технологического развития агропромышленного комплекса РФ до 2030 года», «Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства РФ на 2017–2025 годы», «Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года» и «Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации» [1–6].

Краснодарский край является одним из лидирующих субъектов РФ в области сельскохозяйственного производства. Это один из самых климатически благоприятных и географически значимых регионов страны, вносящих значительный вклад в ВРП страны (1). За последнее десятилетие большое значение в сельском хозяйстве Краснодарского края занимает отрасль растениеводства. Однако недостаточный уровень использования инновационных технологий выступает в качестве наиболее острой проблемы растениеводства в Краснодарском крае. Недостаток таких технологий привел к тому, что около трети урожая фруктов и овощей теряется в поле в послепосевной период (2). Однако существует путь к решению проблемы, позволяющий увеличить срок хранения, снизить объём и вес продукции, сохранить питательные вещества, расширить возможности кулинарного применения, а также обеспечить устойчивость и экологичность продовольственной системы – сушка овощей. Сушка овощей – это не просто традиционный способ консервации, а технологический процесс, обладающий рядом преимуществ, которые оказывают существенное влияние на хранение, транспортирование и питательную ценность продукции. Важным этапом, влияющим на качество конечного продукта, его пищевую ценность и срок хранения, является предварительная обработка овощей перед сушкой. В последние годы исследователи проявляют интерес к применению электромагнитных полей крайне низкой частоты (ЭМП КНЧ) в качестве перспективного метода предварительной обработки [8–12]. Несмотря на то, что технология находится на стадии изучения и развития, она

демонстрирует значительный потенциал для революционных изменений в процессе сушки овощей.

Одним из основных перспективных направлений применения ЭМП КНЧ является сохранение качества и питательной ценности овощей, снижение микробной загрязнённости, улучшение текстуры сушеных продуктов и повышение энергоэффективности процесса сушки. Однако важно понимать, что исследования в области применения ЭМП КНЧ для подготовки овощей к сушке все еще находятся на ранней стадии. Требуется дополнительные исследования для подтверждения безопасности и эффективности этого метода, а также для оптимизации параметров обработки для различных видов овощей. Кроме того, необходима разработка и внедрение соответствующего оборудования для промышленного масштаба. В связи с этим, членами коллектива разработано и собрано экспериментальное устройство для обработки продукции растениеводства ЭМП КНЧ [13].

Целью данного исследования явилось определение оптимальных параметров обработки электромагнитными полями крайне низких частот свежих овощей для обеспечения максимального сохранения биологически активных веществ, высоких показателей качества и снижения потерь в процессе сушки.

Задачи исследования: изучить влияние параметров обработки ЭМП КНЧ овощей (моркови столовой, капусты белокачанной и кабачков) на изменение их внешних повреждений, твердости (по возможности), убыли массы, биохимического состава в процессе хранения в провоцирующих условиях (12 °C) с целью установления оптимальных параметров обработки ЭМП КНЧ.

МЕТОДЫ

Для выбора видов и сортов овощей, оптимальных для сушки, были собраны данные по хозяйствам Краснодарского края о том, какие сорта овощей имеют наибольшие посевные площади и урожайность. На основании полученных данных был проведён сравнительный анализ по урожайности и физико-химическому составу сырья и отобраны оптимальные для сушки: морковь столовая сорта Аркадия, капуста белокачанная гибрид Бригадир, кабачки гибрид Искандер.

Предварительную обработку ЭМП КНЧ проводили с использованием экспериментальной лабора-

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ОВОЩЕЙ ПЕРЕД СУШКОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ПОЛЯМИ КРАЙНЕ НИЗКИХ ЧАСТОТ

торной установки [13]. Варьировали такие параметры, как частота электромагнитного поля и время обработки. При этом частоту ЭМП изменяли в диапазоне от 16 до 40 Гц, время обработки – в диапазоне от 10 до 40 минут; электромагнитная индукция оставалась постоянной: 10 мТл (морковь, капуста белокочанная); 3 мТл (кабачки). Данные параметры были получены авторами на основе ранее проведенных исследований. Для предварительной обработки объектов исследования подобраны следующие режимы:

- 1: частота, 16 Гц; время обработки, 40 мин;
- 2: частота, 16 Гц; время обработки, 30 мин;
- 3: частота, 16 Гц; время обработки, 20 мин;
- 4: частота, 16 Гц; время обработки, 10 мин;
- 5: частота, 24 Гц; время обработки, 30 мин;
- 6: частота, 24 Гц; время обработки, 20 мин;
- 7: частота, 24 Гц; время обработки, 10 мин;
- 8: частота, 32 Гц; время обработки, 20 мин;
- 9: частота, 32 Гц; время обработки, 10 мин;
- 10: частота, 40 Гц; время обработки, 10 мин.

Оценку степени образования внешних повреждений на поверхности овощей определяли после 6 дней хранения (морковь столовая, кабачки) и 10 дней (капуста белокочанная) в провоцирующих условиях ($t = 12 \pm 2^\circ \text{C}$ и ОВВ $40 \pm 5\%$) в соответствии со шкалой, разработанной Мегиасом и др. (2014) и рассчитывали итоговый индекс поверхностных повреждений в зависимости от степени повреждения: 0 = повреждений нет; 1 = 5 % поверхности с повреждениями; 2 = от 6 до 15 % поверхности с повреждениями; 3 = от 16 до 25 % поверхности с повреждени-

ями; 4 = от 26 до 50 % поверхности с повреждениями; 5 = более 50 % поверхности с повреждениями.

Процент потери веса во время хранения оценивали путем взвешивания 12 отдельных плодов через 6 дней хранения (морковь столовая, кабачки) и 10 дней (капуста белокочанная) после обработки и вычисляли среднее значение.

Твердость была определена у 12 обработанных ЭМП КНЧ и 12 контрольных плодов для каждого сорта/гибрида с помощью пенетрометра GY-3 ($d = 8 \text{ мм}$). Твердость измеряли на поперечном срезе в дистальной, средней и проксимальной областях. Общая упругость каждого плода соответствовала среднему значению по этим трем показателям.

Массовую долю сухих растворимых веществ определяли по ГОСТ ISO 2173-2013 [14]; витамина С – по методу С.М. Прокошева [15]; сахаров – по ГОСТ 8756.13-87 [16]. Эксперименты проводились в трёхкратной повторности (с допустимой максимальной разницей в 5 % между повторными измерениями). Анализ данных проводился с использованием описательной статистики и дисперсионного анализа с применением Microsoft Excel и Statistica.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В таблицах 1–3 приведены результаты исследования влияния обработки ЭМП КНЧ моркови столовой сорта Аркадия, капусты белокочанной сорта Бригадир, кабачков сорта Искандер на изменение внешних повреждений, убыли массы и твердости (для кабачков) в процессе хранения в провоцирующих условиях.

Таблица 1 – Влияния обработки ЭМП КНЧ на внешние повреждения и убыль массы моркови столовой сорта Аркадия

Table 1 – Effects of ELF EMF treatment on changes in external damage and weight loss of Arkadiya table carrots

Наименование показателя	Номер режима									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
контроль (1 день 11.09.24)										
Масса ¹ , кг	440,7									
контроль (6 день 16.09.24)										
ИПП ²	3,3±0,58									
Убыль массы ¹ , %	45,72									
обработанные (6 день 16.09.24)										
ИПП ²	2,24± 0,35	2,26± 0,24	2,56± 0,36	2,48± 0,42	2,12± 0,31	2,13±0,3 2	2,16± 0,12	2,10±0, 34	2,10± 0,35	2,10± 0,28
Убыль массы. %	46,51	46,10	45,53	46,59	44,77	45,87	45,09	43,27	38,77	31,61

¹ Данные представляют собой среднее значение для 12 плодов

² Индекс поверхностных повреждений

Таблица 2 – Влияния обработки ЭМП КНЧ на внешние повреждения и убыль массы капусты белокочанной гибрида Бригадир

Table 2 – Effects of ELF EMF treatment on changes in external damage and mass loss of white cabbage hybrid Brigadir

Наименование показателя	Номер режима									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
контроль (1 день 11.09.24)										
Масса ¹ , г	1989,2									
контроль (10 день 20.09.24)										
ИПП ²	3,43±0,28									
Убыль массы ¹ , %	24,50									
обработанные (10 день 20.09.24)										
ИПП ₂	3,24± 0,23	3,22± 0,26	3,18± 0,31	3,17± 0,34	3,15± 0,31	3,01± 0,29	3,15± 0,26	3,18± 0,28	3,09± 0,38	3,10± 0,31
Убыль массы. %	23.90	22.65	20.90	20.42	19.67	18.98	19.17	19.25	19.05	19.00

¹ Данные представляют собой среднее значение для 12 плодов

² Индекс поверхностных повреждений

Таблица 3 – Влияния обработки ЭМП КНЧ на внешние повреждения и убыль массы и твердости кабачков сорта Искандер

Table 3 – Effects of ELF EMF treatment on changes in external damage, weight loss and firmness of Iskander squash

Наименование показателя	Номер режима									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
контроль (1 день 07.09.24)										
Масса ¹ , г	754,9									
Твердость ¹ , кг/см ²	4,4									
контроль (6 день 12.09.24)										
ИПП ²	4,50±0,22									
Убыль массы, %	14,96									
Твердость ¹ , кг/см ²	10,5									
обработанные (6 день 12.09.24)										
ИПП ²	4,10±0,18	4,0±0,34	3,81±0,23	3,78±0,47	3,79±0,13	3,75±0,26	3,71±0,31	3,72±0,19	3,68±0,26	3,55±0,23
Убыль массы, %	13,19	12,03	11,92	11,39	11,42	11,21	10,80	10,98	10,34	10,09
Твердость ¹ , кг/см ²	10,1	10,2	9,9	10,2	10,3	10,1	9,8	9,6	9,8	9,6

¹Данные представляют собой среднее значение для 12 плодов²Индекс поверхностных повреждений

Учитывая наблюдаемые в процессе хранения потери биологически активных веществ, таких как витамин С, сахара и растворимые сухие вещества, было изучено влияние предварительной обработки ЭМП КНЧ (10 режимов) на величину этих потерь. Основной целью данного этапа исследования являлось определение общего влияния предварительной обработки ЭМП КНЧ на сохранность биологически активных веществ в овощах в процессе хранения. Витамин С, как водорастворимый и более лабильный витамин, чувствителен к внешним воздействиям,

включая электромагнитное поле и условия хранения. В связи с этим, динамика изменения витамина С была выбрана в качестве индикатора общего влияния обработки на сохранность биохимического состава. На рисунках 1–3 представлены результаты анализа динамики изменения содержания биологически активных веществ моркови сорта Аркадия, капусты белокочанной гибрида Бригадир и кабачков гибрида Искандер, полученные в результате усреднения данных по 10 режимам обработки.

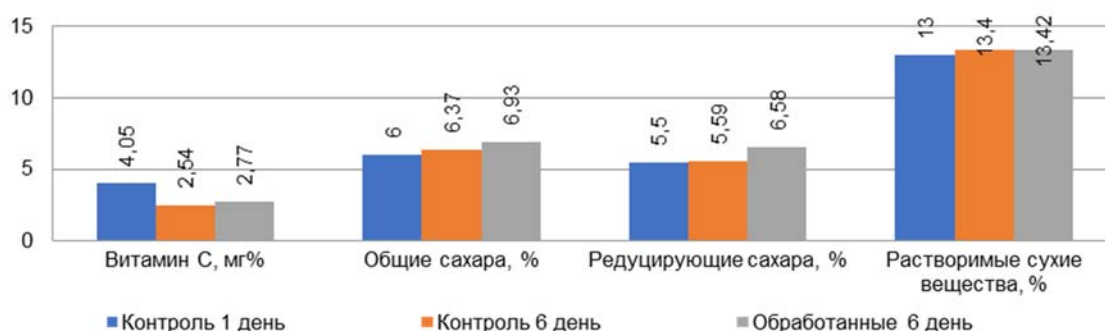


Рисунок 1 – Влияние обработки ЭМП КНЧ на изменение биохимического состава моркови столовой сорта Аркадия

Figure 1 – Effect of ELF EMF treatment on changes in the biochemical composition of table carrots of the Arcadia variety

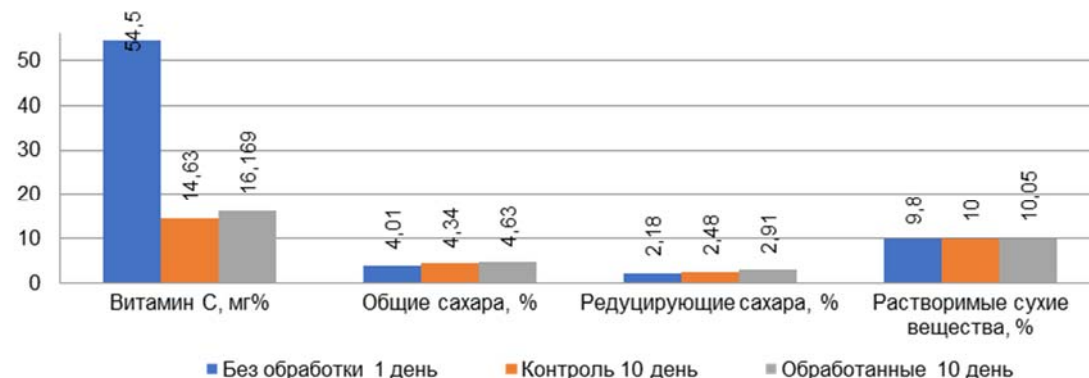


Рисунок 2 – Влияние обработки ЭМП КНЧ на изменение биохимического состава капусты белокочанной гибрида Бригадир

Figure 2 – The effect of ELF EMF treatment on changes in the biochemical composition of the Brigadir hybrid white cabbage

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ОВОЩЕЙ ПЕРЕД СУШКОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ПОЛЯМИ КРАЙНЕ НИЗКИХ ЧАСТОТ

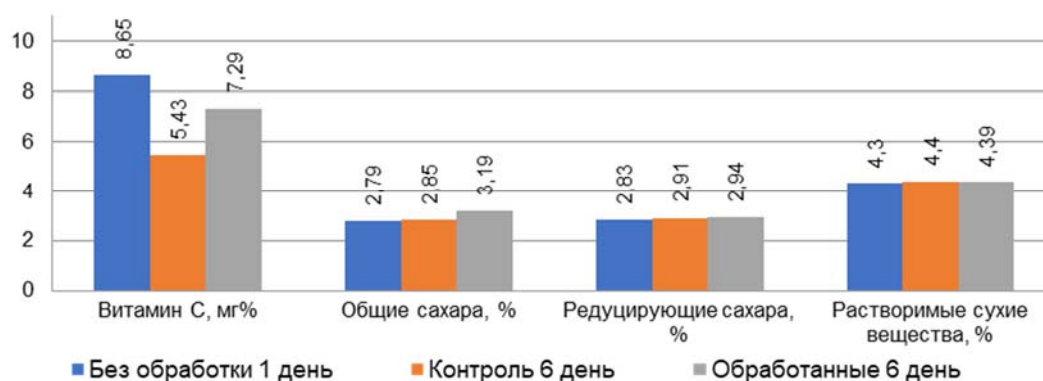


Рисунок 3 – Влияние обработки ЭМП КНЧ на изменение биохимического состава кабачков гибрида Искандер

Figure 3 – Effect of ELF EMF treatment on changes in the biochemical composition of Iskander hybrid squash

Установлено, что обработка ЭМП КНЧ моркови столовой сорта Аркадия снижает индекс поверхностных повреждений (ИПП) по сравнению с контролем. Наибольшее снижение ИПП наблюдается в режимах 5–10. Убыль массы при этом варьируется в зависимости от режима обработки. Наименьшая убыль массы наблюдается в режимах 9 и 10.

Обработка ЭМП КНЧ капусты белокочанной гибрида Бригадир незначительно снижает индекс поверхностных повреждений (ИПП) по сравнению с контролем. Наибольшее снижение ИПП наблюдается в режимах 6 и 9. Убыль массы значительно снижается при обработке ЭМП КНЧ во всех режимах по сравнению с контролем. Наименьшая убыль массы наблюдается в режиме 6.

Обработка ЭМП КНЧ кабачков гибрида Искандер снижает индекс поверхностных повреждений (ИПП) по сравнению с контролем. Наибольшее снижение ИПП наблюдается в режиме 10. Убыль массы также снижается при обработке ЭМП КНЧ по сравнению с контролем. Наименьшая убыль массы наблюдается в режиме 10. Обработка ЭМП КНЧ сдерживает рост твердости плодов по сравнению с контролем. Наименьшая твердость наблюдается в режимах 8 и 10.

В результате изучения влияния предварительной обработки ЭМП КНЧ на изменение биохимического состава установлено, что после хранения в течение 6 дней моркови столовой сорта Аркадия наблюдается снижение витамина С с 4,05 мг/100 г до 2,54 мг/100 г (контроль) и 2,77 мг/100 г (среднее значение, обработанные); увеличение общих сахаров с 6,0 % до 6,37 % (контроль) и 6,93 % (среднее значение, обработанные); увеличение редуцирующих сахаров с 5,5 % (контроль) до 5,59 % (контроль) и 6,58 % (среднее значение, обработанные); увеличение растворимых сухих веществ с 13,0 % до 13,4 % (контроль) и 13,42 % (среднее значение, обработанные), рисунок 1.

Установлено, что после хранения в течение 10 дней капусты белокочанной гибрида Бригадир наблюдается снижение витамина С с 54,5 мг/100 г до 14,63 мг/100 г (контроль) и 16,17 мг/100 г (среднее значение, обработанные); происходит незначительное увеличение общих сахаров с 4,01 % до 4,34 % (контроль) и 4,63 (среднее значение, обработанные); увеличение редуцирующих сахаров с 2,18 % до 2,48 % (контроль) и 2,91 % (среднее значение, обработанные); незначительное увеличение растворимых

сухих веществ с 9,8 % до 10,0 % (контроль) и 10,05 % (среднее значение, обработанные), рисунок 2.

Установлено, что после хранения в течение 6 дней кабачков гибрида Искандер наблюдается снижение витамина С с 8,65 мг/100 г до 5,43 мг/100 г (контроль) и 7,29 мг/100 г (среднее значение, обработанные); увеличение общих сахаров с 2,79 % до 2,85 % (контроль) и 3,19 % (среднее значение, обработанные); небольшое увеличение редуцирующих сахаров с 2,83 % до 2,91 % (контроль) и 2,94 % (среднее значение, обработанные); незначительное увеличение растворимых сухих веществ с 4,3 % до 4,4 % (контроль) и 4,39 % (среднее значение, обработанные), рисунок 3.

Таким образом, наблюдаются общие положительные тенденции влияния предварительной обработки овощей ЭМП КНЧ:

- замедление процесса снижения содержания витамина С (аскорбиновой кислоты) во всех исследованных образцах овощей по сравнению с контролем: морковь – на 5,7 %, капуста – на 2,7 %, кабачки – на 21,5 %;
- увеличение содержания общих и редуцирующих сахаров по сравнению с контролем: морковь (общих сахаров – на 8,8 %, редуцирующих сахаров – на 17,8 %; капуста: общих сахаров – на 7,2 %, редуцирующих сахаров – на 17,8 %; кабачки: общих сахаров – на 12,2 %, редуцирующих сахаров – на 1,0 %);
- увеличение концентрации растворимых сухих веществ по сравнению с контролем является типичной характеристикой овощей во время хранения: морковь – на 0,15 %, капуста – на 0,5 %, кабачки – на 0,16 %. Это увеличение объясняется двумя основными механизмами: во-первых, потерей влаги, которая концентрирует имеющиеся растворимые вещества; во-вторых, продолжающимся метаболизмом определённых углеводов в овощах, что приводит к увеличению содержания растворимых сахаров.

Установлено, что применение обработки ЭМП КНЧ положительно влияет на сохранение витамина С, общих и редуцирующих сахаров, а также на сохранение сухих веществ, что является важным аспектом, влияющим на питательную ценность, вкусовые качества, срок хранения и безопасность овощей.

Для определения оптимальных параметров обработки ЭМП КНЧ моркови столовой, капусты белокочанной и кабачков была проведена математическая обработка результатов эксперимента.

В качестве критерия локального оптимума была выбрана зависимость убыли массы от частоты ЭМП (x_1) времени обработки (x_2). Для выявления оптимальных технологических режимов обработки был проведён анализ ANOVA, выявлены достоверно различающиеся области варьирования x_1 и x_2 с $p < 0.05$ для убыли массы. Корреляционный анализ выявил сильную отрицательную зависимость убыли массы ($r < -0.8$) для частоты и среднюю положительную ($r > 0.4$) для длительности обработки. Области варьирования частоты ЭМП (x_1) времени обработки (x_2) с минимальным значением убыли массы использованы как рекомендуемые технологические режимы.

Для таких показателей, как содержание массовой доли общих и редуцирующих сахаров, содержание растворимых сухих веществ, индекс поверхностных повреждений, анализом ANOVA достоверных различий не выявлено ($p > 0.1$), но корреляционный анализ показывает ($r < -0.7$) наличие сильной отрицательной корреляции индекса поверхностных повреждений с частотой, что в сочетании с достоверностью различий, близкой к пограничной ($p < 0.2$), показывает необходимость проведения исследований для получения дополнительных данных. Показатель масса не

использовался из-за структуры выборки и был заменён на убыль массы. Для содержания витамина С выявлены области с флуктуацией достоверности различия, но корреляционный анализ показывает достаточно слабую положительную зависимость ($r = 0.25...0.35$) из-за локального пика в экспериментальных данных. Также полученный пик, не отображаемый графиком функции, существенно ослабил коэффициент детерминации зависимости $SvC = f(x_1, x_2)$ до $R^2 < 0.8$.

Для поиска экстремума функции (оптимума режимов обработки) необходимо было провести уточняющий полнофакторный экспериментальный шаг поиска, для чего сдвинули диапазоны варьирования частоты ЭМП от 28 до 52 Гц, и время обработки от 25 до 55 мин.

На основе проведенных экспериментальных данных были подобраны оптимальные индивидуальные параметры обработки ЭМП КНЧ, важных для различных видов овощей, с целью обеспечения максимального сохранения биологически активных веществ, высоких показателей качества и снижения потерь, таблица 4.

Таблица 4 – Оптимальные индивидуальные параметры обработки ЭМП КНЧ овощей
Table 4 – Optimal individual parameters for processing vegetables with ELF EMF

Объекты исследования	Обработка ЭМП КНЧ			Оптимальный срок хранения, дней
	Значение электромагнитной индукции, мТл	Частота электромагнитного поля, Гц	Время обработки, мин	
Морковь сорт Аркадия	10	40	10	6
Капуста сорт Бригадир	10	24	20	10
Кабачки гибрид Искандер	3	40	10	6

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Различные виды продукции имеют разную степень чувствительности к электромагнитным полям. Подбор оптимальных параметров обработки ЭМП позволит:

- минимизировать потери биологически активных веществ;
- сохранить высокие показатели качества продукции;
- оптимизировать процессы тепловой обработки растительного сырья (использование определенных частот и интенсивности полей поможет способствовать более равномерной и эффективной сушке продукции, а также улучшению структуры и текстуры сырья);
- достичь более энергоэффективного процесса сушки и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду. Это особенно актуально в условиях повышенного интереса к экологически чистым и энергоэффективным технологиям.

Таким образом, подбор оптимальных параметров обработки электромагнитных полей крайне низких частот является важным шагом в разработке технологии и оборудования для подготовки растительного сырья к сушке. Это позволит достичь максимального сохранения биологически активных веществ и обеспечить высокие показатели качества продукции.

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и Кубанского научного фонда № 24-26-20051, <https://rscf.ru/project/24-26-20051/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указ Президента Российской Федерации от 1.12.2016 № 642 (ред. от 15.03.2021) «Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации до 2030 года» // Собрание законодательства Российской Федерации, 05.12.2016, № 49 ст. 6887 // URL : <https://base.garant.ru/71551998/?ysclid=m4ve497ccp314880837>. (дата обращения 02.09.2024).
2. Прогноз научно-технологического развития агропромышленного комплекса Российской Федерации до 2030 года. Утв. приказом Минсельхоз Российской Федерации от 12 января 2017 года. № 3 // URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71499570/?ysclid=m4ve29qwk182057344>. (дата обращения 02.09.2024).
3. Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства РФ на 2017–2025 годы. утв. Указом Президента Российской Федерации от 25 августа 2017 г. № 996 // URL: <file:///C:/Users/ЯкТатВик/Downloads/Программа-развития-2022-г.-1.pdf>. (дата обращения 02.09.2024).
4. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29.06.2016 г. № 1364-р «Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года» // URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_200636/. (дата обращения 02.09.2024).
5. Указ Президента Российской Федерации от 21.01.2020 г. № 20 (ред. от 22.01.2020) «Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации» // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: www.pravo.gov.ru. (дата обращения 02.09.2024).
6. Программа фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 годы), утв. Распоряжением Правительства РФ от 31.12.2020 г. № 3684-р // URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71499570/?ysclid=m4ve29qwk182057344>.

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2025

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ОВОЩЕЙ ПЕРЕД СУШКОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ПОЛЯМИ КРАЙНЕ НИЗКИХ ЧАСТОТ

file:///C:/Users/ЯкТатВик/Downloads/skzO0DEvyFOIBtXobzP
A3zTyC71cRAOi%20(1).pdf. (дата обращения 02.09.2024).

7. Usall J., Ippolito A., Sisquella M., Neri F. Physical treatments to control postharvest diseases of fresh fruits and vegetables // *Postharvest Biology and Technology*. 2016. № 122. P. 30–40.

8. Ojaghian M.R., Zhang J., Xie G., Wang Q. Efficacy of UV-C radiation in inducing systemic acquired resistance against storage carrot rot caused by *Sclerotinia sclerotiorum* // *Postharvest Biology and Technology*. 2017. № 130. P. 94–102.

9. Купин Г.А., Викторова Е.П., Алёшин В.Н., Михайлюта Л.В. Исследование влияния электромагнитного поля на изменение микробиальной обсеменности корнеплодов моркови в процессе хранения // *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2015. № 4 (20). С. 231–236.

10. Першакова Т.В., Купин Г.А., Тягушева А.А., Алёшин В.Н. Влияние обработки электромагнитными полями на активность пероксидазы и содержание полифенолов в капусте при хранении // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2021а. № 5–6 (383–384). С. 21–25.

11. Першакова Т.В., Купин Г.А., Горлов С.М., Тягушева А.А., Алёшин В.Н. Влияние электромагнитных полей крайне низкой частоты на содержание воды, клетчатки, растворимых углеводов, белка и витамина С в цветной капусте при хранении // *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2021б. № 68 (2). С. 287–296.

12. Pershakova T.V., Kupin G.A., Mihaylyuta L.V., Babakina M.V., Gorlov S.M., Lisovoy V.V. Investigation of the influence of an extremely low-frequency electromagnetic field on carrot phytopathogens in-vivo and in-vitro // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 2018. № 8. P. 1897–1901.

13. Патент № 182572 Российская Федерация, МПК A23B 7/00(2006.01). Установка для обработки фруктов или овощей перед закладкой на хранение : № 2018115940 : заявл. 2018.04.26 : опубл. 2018.08.23 / Купин Г.А., Першакова Т.В., Алёшин В.Н., Панасенко Е.Ю., Горлов С.М. ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия" (ФГБНУ СКФНЦСВВ). 5 с.

14. ГОСТ ISO 2173-2013. Межгосударственный стандарт. Продукты переработки фруктов и овощей. Рефрактометрический метод определения растворимых сухих веществ. М. : Стандартинформ, 2014. 7 с.

15. Бурштейн А.И. Методы исследования пищевых продуктов / А.И. Бурштейн. Определение витамина С (Прокошев) // Под ред. А.И. Бурштейн. К. : Государственное медицинское издательство УССР, 1963. 372 с.

16. ГОСТ 8756.13-87. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сахаров. М. : Стандартинформ, 2010. 11 с.

Информация об авторах

Г. А. Купин – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Краснодарского научно-исследовательского института хранения и переработки сельскохозяйственного сырья.

Т. В. Першакова – доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Краснодарского научно-исследовательского института хранения и переработки сельскохозяйственного сырья.

А. А. Тягушева – аспирант, младший научный сотрудник Краснодарского научно-исследовательского института хранения и переработки сельскохозяйственного сырья.

Е. С. Семиряжко – аспирант, младший научный сотрудник Краснодарского научно-исследовательского института хранения и переработки сельскохозяйственного сырья.

Information about the authors

G.A. Kupin - Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the Krasnodarsk Scientific Research Institute for Storage and Processing of agricultural Raw materials.

T.V. Pershakova - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, leading researcher at the Krasnodar Research Institute for Storage and Processing of Agricultural Raw Materials.

A.A. Tyagusheva - postgraduate student, junior research fellow at the Krasnodar Research Institute for Storage and Processing of Agricultural Raw Materials.

E.S. Semiryazhko - postgraduate student, junior research fellow at the Krasnodar Research Institute for Storage and Processing of Agricultural Raw Materials.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 22 октября 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 22 Oct 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.



Научная статья

4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК664.61

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.023



ВЛИЯНИЕ ПОРОШКА ИЗ СЕМЯН ШИПОВНИКА НА СРОКИ ГОДНОСТИ ЖИРОЕМКИХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Газибег Омарович Магомедов ¹, Лариса Анатольевна Лобосова ²,
Алина Сергеевна Бородкина ³

^{1, 2, 3} Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия

¹ gazibeck.magomedov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7201-8387>

² lobosova63@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7147-1297>

³ maria.brown.00@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3846-6687>

Аннотация. Рассмотрено влияние антиоксидантов на процесс окисления жироемких продуктов. Кондитерские изделия с высоким содержанием жира подвержены прогоранию, которое обусловлено порчей жиров, входящих в их состав, что ведет к резкому ухудшению органолептических свойств изделия. С целью замедления процесса прогоркания жиров целесообразно вводить сырье, содержащее антиоксиданты. Приоритетным направлением является разработка технологий кондитерских изделий с новыми видами растительного сырья, таким перспективным сырьем является шиповник.

Объектом изучения является исследование антиокислительных свойств порошок из семян шиповника в сравнении с отдельными витаминами-антиоксидантами: С, Е, β-каротином и их композицией «Веторон». Исследование проведено на модельных смесях «Фритюрный жир + Антиоксидант». Изучен витаминный состав шиповника, препарата «Веторон», витаминами-антиоксидантами: С, Е, β-каротином, их положительные аспекты применения в пищевой промышленности с целью замедления прогоркания жиров. Наиболее сильное замедление образования перекисей наблюдается при введении в качестве антиоксидантов композиций витаминов-антиоксидантов в виде препарата «Веторон» и порошка из семян шиповника дикорастущего. В работе использовали ускоренные методы исследования – метод окисления жиров молекулярным кислородом при высокой температуре и анализировали расчетным путем оценку эффективности действия антиоксидантов на основании уравнения Аррениуса. По результатам анализов были получены аналогичные зависимости, что подтверждает результаты, полученные ранее ускоренным путем при повышенных температурах, верны и для низких температур. Рассчитан срок хранения жиров с антиоксидантами, внесение в рецептуру порошка из семян шиповника увеличивает срок годности в 1,5 раза, что свидетельствует об эффективности внесения антиоксиданта.

Ключевые слова: здоровое питание, порошок из семян шиповника, антиоксиданты, фритюрный жир, витамины-антиоксиданты, прогоркание жиров, пралиновые массы, «Веторон».

Благодарности: авторы выражают признательность коллегам за помощь, благодарность за финансовую поддержку исследования.

Для цитирования: Магомедов Г. О., Лобосова Л. А., Бородкина А. С. Влияние порошка из семян шиповника на сроки годности жироемких кондитерских изделий // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 136–140. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.022. EDN: <https://elibrary.ru/YUNBTW>.

Original article

EFFECT OF ROSEHIP SEED POWDER ON SHELF LIFE OF FAT-INTENSIVE CONFECTIONERY PRODUCTS

Gazibeg O. Magomedov ¹, Larisa A. Lobosova ², Alina S. Borodkina ³

^{1, 2, 3} Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia

¹ gazibeck.magomedov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7201-8387>

² lobosova63@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7147-1297>

³ maria.brown.00@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3846-6687>

Abstract. The influence of antioxidants on the oxidation process of fat-intensive products is considered. Confectionery products with a high fat content are subject to burnout, which is caused by the spoilage of fats included in their composition, which leads to a sharp deterioration in the organoleptic properties of the product. In order to slow down the process of rancidity of fats, it is advisable to introduce raw materials containing antioxidants. The priority area is the development of confectionery technologies with new types of plant raw materials, such a promising raw material is rose hips. The object of study is the study of the antioxidant properties of rosehip seed powder in comparison with individual

© Магомедов Г. О., Лобосова Л. А., Бородкина А. С., 2025

ВЛИЯНИЕ ПОРОШКА ИЗ СЕМЯН ШИПОВНИКА НА СРОКИ ГОДНОСТИ ЖИРОЕМКИХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

antioxidant vitamins: C, E, β -carotene and their composition "Vetoron". The study was conducted on model mixtures "Frying fat + Antioxidant". The vitamin composition of rose hips, the drug "Vetoron", antioxidant vitamins: C, E, β -carotene, their positive aspects of use in the food industry to slow down rancidity of fats were studied. The strongest slowdown in the formation of peroxides is observed with the introduction of antioxidant vitamin compositions in the form of the drug "Vetoron" and rosehip seed powder as antioxidants. Accelerated research methods were used in the work - the method of oxidation of fats with molecular oxygen at high temperature and the analysis of the effectiveness of antioxidants based on the Arrhenius equation was carried out by calculation. Based on the analysis results, similar dependencies were obtained, which confirms the results obtained earlier by an accelerated method at elevated temperatures, and are also true for low temperatures. The shelf life of fats with antioxidants was calculated, the introduction of rosehip seed powder into the recipe increases the shelf life by 1.5 times, which indicates the effectiveness of the antioxidant.

Keywords: healthy nutrition, rosehip seed powder, antioxidants, deep-frying fat, antioxidant vitamins, rancid fats, praline masses, "Vetoron".

Acknowledgements: the author expresses gratitude to colleagues for their help, thanks for the financial support of the research.

For citation: Magomedov, G.O., Lobosova, L.A. & Borodkina, A.S. (2025). Effect of rosehip seed powder on shelf life of fat-intensive confectionery products. Polzunovskiy vestnik, (3), 136-140. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.022. EDN: <https://elibrary.ru/YUNBTW..>

ВВЕДЕНИЕ

Интерес к продуктам здорового питания неуклонно растет. Взрослое население в большом количестве потребляет продукты с высоким содержанием жиров растительного происхождения, простых углеводов, тогда как в рационе недостаточно овощей, фруктов, что приводит к увеличению избыточной массы тела, ожирению, увеличивая риск развития сахарного диабета, сердечно-сосудистых заболеваний.

Поэтому приоритетным направлением является разработка технологий кондитерских изделий с новыми видами растительного сырья, обогащенного витаминами, минеральными, белковыми и другими компонентами, поиск оптимальных способов его переработки.

Одним из перспективных обогатителей в рецептурном составе кондитерских изделий являются полуфабрикаты из шиповника. Плоды шиповника богаты содержанием эфирных масел, железа, кальция, магния, фосфора, витаминов Р, С, К, Е, группы В, рутина, флавоноидов, дубильными веществами и др. [1].

Употребление шиповника полезно при простудных, гастроэнтерологических заболеваниях, иммуносу-прессивных состояниях [1].

Учеными ФГБОУ ВО «Алтайский государственный аграрный университет» разработана технология сдобного печенья с использованием порошка шиповника, в результате чего улучшаются органолептические показатели, снижается энергетическая ценность [2].

Для расширения ассортимента бисквита, улучшения показателей их качества учеными ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» предложено добавлять порошок дикорастущего шиповника [3].

В работе Мирошниковой Т.Н. исследовано влияние паст шиповника на структурно-механические свойства пралиновых и помадных конфетных масс, жировых вафельных начинок [4].

В пралиновых конфетах, шоколаде, печенье, вафлях содержится большое количество жира при невысокой влажности изделий, поэтому в результате этого происходит накопление в них свободных жирных кислот, перекисей, альдегидов, кетонов и других веществ, что ведет к резкому ухудшению свойств продуктов. Большинство этих соединений являются опасными, поэтому главная задача стабильности кондитерских изделий – снижение скорости окисления жиросодержащих продуктов с целью увеличения сроков хранения и замедления процесса накопления токсичных продуктов окисления [5].

Окисление жироемких изделий замедляется при добавлении к ним антиоксидантов. В настоящее время на рынке представлен широкий выбор антиоксидантов природного и синтетического происхождения различной природы действия отечественных и зарубежных производителей [6].

Для замедления процесса прогоркания жиров целесообразно вводить сырье, содержащее антиоксиданты. Таким перспективным сырьем являются порошок из семян шиповника дикорастущего. Ягоды шиповника – отличный инструмент импортозамещения. Шиповник богат витаминами РР, Е, К, А и группы В; макро- и микроэлементами, а также дубильными веществами (танины), водорастворимой клетчаткой (пектины), яблочной и лимонной кислотами. Шиповник является лекарственным растением широкого спектра действия. Улучшает обмен веществ, укрепляет иммунитет, нормализует работу желудочно-кишечного тракта, регулирует уровень холестерина в крови, укрепляет кости и хрящи, оказывает ранозаживляющее и мочегонное действие.

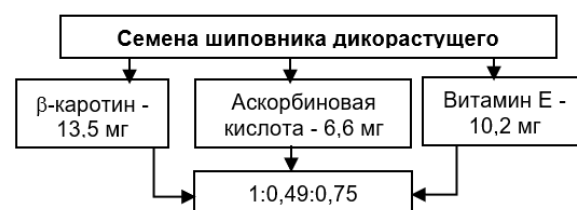


Рисунок 1 – Витаминный состав семян шиповника дикорастущего

Figure 1 – Vitamin composition of wild rosehip seeds

Поэтому целью работы явилось исследование антиокислительных свойств порошка из семян шиповника дикорастущего в сравнении с отдельными витаминами-антиоксидантами: С, Е, β -каротином и их композицией «Веторон».

МЕТОДЫ

Использовали порошок из семян плодов шиповника дикорастущего, получали его согласно схеме, представленной на рисунке 2, сбор плодов осуществляли в стадии биологической зрелости.

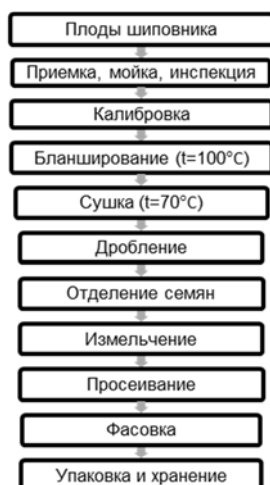


Рисунок 2 – Структурная схема получения порошка из семян шиповника

Figure 2 – Structural diagram of obtaining powder from wild rosehip seeds

Порошок из семян шиповника дикорастущего представляет собой однородную сыпучую массу темно-бежевого цвета, с содержанием влаги – 12 %.

В работе использовали ускоренные методы исследования – метод окисления жиров молекулярным кислородом при высокой температуре 80–100 °С.

Оценку эффективности действия антиоксидантов анализировали расчетным путем по следующей формуле:

$$\tau_a/\tau_o,$$

где τ_a и τ_o – время, в течение которого образцы жира с добавкой антиоксиданта (τ_a) и без него (τ_o) окисляются до перекисного числа 0,1 (в % I_2), так как после в системе начинается фаза быстрого окисления и сложно получить воспроизводимые результаты.

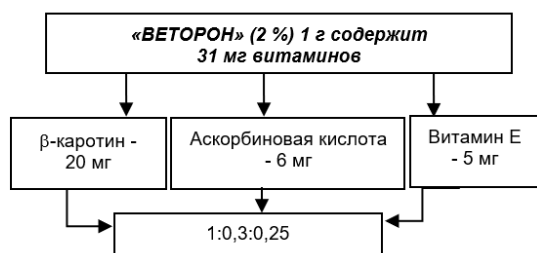


Рисунок 3 – Состав препарата «Веторон»

Figure 3 – Composition of the drug "Vetoron"

Исследование влияния антиоксидантов на процесс окисления кондитерских изделий проводили на модельных смесях «Жир + Антиоксидант».

Из жиров использовали фритюрный жир, наиболее сильно подверженный окислению, за счет большого количества в его составе ненасыщенных жирных кислот и полного отсутствия природных антиоксидантов. Дозировку антиоксидантов выбирали с учетом состава препарата «Веторон».

ОБСУЖДЕНИЕ

Соотношение скоростей окисления образцов с добавкой антиоксиданта и без нее иллюстрирует влияние различных добавок ингибитора на стойкость к окислению исследуемого жирового продукта, а также позволяет установить, насколько используемый ингибитор будет эффективен при хранении жиров.

Дозировка антиоксидантов и веществ, их содержащих, на 100 г жира:	
«Веторон», 2% - 1 г	
аскорбиновая кислота - 31 мг	
витамин Е (10 %) - 310 мг	
β-каротин (30 %) - 103,3 мг	

Рисунок 4 – Дозировка антиоксидантов и веществ, их содержащих

Figure 4 – Dosage of antioxidants and substances containing them

Доказано, что эффективность действия антиоксидантов повышается с уменьшением температуры, что повышает устойчивость фритюрного жира к окислению. На первом этапе проведено окисление фритюрного жира при температуре 90 °С в течение 9 часов.

Окисление жиров происходит с различной скоростью в зависимости от вида антиоксиданта. Наиболее сильное замедление образования перекисей наблюдается при введении в качестве антиоксидантов композиций витаминов-антиоксидантов в виде препарата «Веторон» и порошок из семян шиповника дикорастущего.

Таблица 1 – Эффективность действия антиоксидантов и веществ, их содержащих, при окислении фритюрного жира

Table 1 – Efficiency of antioxidants and substances containing them during oxidation of frying fat

Наименование анализируемых веществ	Время достижения перекисного числа 0,1 (в % I_2)	Эффективность действия анализируемых веществ мкмоль/1 г СВ
Аскорбиновая кислота	3	6
Витамин Е	7	14
Порошок из семян шиповника дикорастущего	8	16
β-каротин	2,5	5
«Веторон»	9	18

По убыванию эффективности действия антиоксиданты и вещества, их содержащие, можно расположить в следующем порядке: «Веторон» – порошок из семян шиповника дикорастущего – витамин Е – витамин С – β-каротин. Торможение окислительного процесса за счет действия антиоксидантов наблюдается до тех пор, пока они вступают в реакцию со свободными радикалами, нейтрализуя их, предотвращая дальнейшие окислительные реакции. Поэтому исследован расход антиоксидантов и веществ, их содержащих, при окислении жиров на примере аскорбиновой кислоты.

Таблица 2 – Расход аскорбиновой кислоты при окислении фритюрного жира

Table 2 – Consumption of ascorbic acid during the oxidation of frying fat

Наименование анализируемых веществ	Расход аскорбиновой кислоты, мг	
	на стадии приготовления модельной смеси	по достижении перекисного числа
«Веторон»	17	84
Порошок из семян шиповника дикорастущего	6	80
Аскорбиновая кислота	23	86

ВЛИЯНИЕ ПОРОШКА ИЗ СЕМЯН ШИПОВНИКА НА СРОКИ ГОДНОСТИ ЖИРОЕМКИХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Большие потери аскорбиновой кислоты при приготовлении модельных смесей наблюдаются в образце с добавлением чистого витамина С, а при добавлении порошка из семян шиповника дикорастущего потери уменьшаются в 3,8 раза.

Согласно ГОСТ 28414-89, температура хранения жиров установлена в интервалах: $t = (-20)-0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t = 1-4\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t = 4-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t = 10-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t = 15-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Расчетным путем на основании уравнения Аррениуса получены данные сроков годности жиров с антиоксидантами и веществами, их содержащими, и контрольным образцом. С увеличением температурных интервалов длительность хранения жиров в контрольном образце снижается от 6 до 2 месяцев. Введение антиоксидантов и веществ, их содержащих увеличивает сроки хранения от 10 до 24 месяца при температуре при $t = (-20)-0\text{ }^{\circ}\text{C}$, от 4 до 8 месяцев при $t = 1-4\text{ }^{\circ}\text{C}$, и от 2 до 6 месяцев при $t = 4-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. При других температурных интервалах получены аналогичные зависимости. Введение порошка из семян шиповника дикорастущего во фритюрный жир позволит увеличить срок хранения жиров до 24 месяцев при температурном интервале $t = (-20)-0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 5).



Рисунок 5 – Сроки годности жиров с антиоксидантами и веществами, их содержащими:

1 – контроль; 2 – β-каротин; 3 – витамин С;
4 – витамин Е; 5 – порошок из семян шиповника дикорастущего; 6 – «Веторон»

Figure 5 – Shelf life of fats with antioxidants and substances containing them

1 – control; 2 – β-carotene; 3 – vitamin C;
4 – vitamin E; 5 – wild rosehip seed powder;
6 – “Vetoron”

ВЫВОДЫ

Таким образом, порошок из семян шиповника дикорастущего является перспективным сырьем для производства жироемких кондитерских изделий увеличенного срока годности. Однако в кондитерской промышленности используется только порошок мякоти шиповника. Семена шиповника обычно не используются в пищевой промышленности, так как их поверхность грубоволосистая и раздражает слизистые оболочки. Таким образом, исследованы антиокислительные свойства порошка из семян шиповника дикорастущего в сравнении с отдельными витаминами-антиоксидантами (С, Е, β-каротином) и их композицией «Веторон».

Установлено, что введение порошка из семян шиповника дикорастущего в жиры увеличивает срок их годности в 1,5 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Касьянов Г.И. Технология получения пищевых добавок из плодов барбариса, инжира, облепихи и шиповника // Хлебобулочные, кондитерские и макаронные изделия XXI века : материалы VIII международной научно-практической конференции. Краснодар : КГТУ, 2023. С. 97–103.
2. Завалишина О.М. Использование порошка из плодов шиповника в рецептуре сдобного печенья // Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции : материалы II Международной научно-практической конференции. Барнаул : Алтайский ГАУ, 2023. С. 48–53.
3. Ковалева А.Е. Влияние порошка плодов дикорастущего шиповника на потребительские свойства бисквитов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2019. № 1(79). С. 256–262. doi: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2023-4>.
4. Мирошникова Т.Н. Разработка технологии кондитерских изделий функционального назначения увеличенного срока годности с применением полуфабрикатов лекарственных растений: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2001. 210 с.
5. Жуков С.А., Старкова А.В., Ковалева А.Е. Разработка рецептуры конфет ручной работы «Батончики пралине» и технологии производства // Пищевая индустрия в современных условиях: тренды и инновации : материалы Международной научно-практической конференции. Орел : Орловский ГАУ им. Н.В. Парахина, 2023. С. 97–104.
6. Потекина Е. Конфеты типа пралине: секреты технологов // Кондитерское и хлебопекарное производство. 2022. № 11–12(202). С. 23–25.
7. Кондратьев Н.Б., Осипов М.В., Казанцев Е.В. Влияние миграции жиров на окислительные процессы в глазированных конфетах // Пищевая промышленность. 2021. № 12. С. 87–90. doi: 10.52653/PPI.2021.12.12.017.
8. Маюрникова Л.А., Бычкова Е.С., Ломовский И.О., Белякова Д.А., Бычков А.Л. Методология разработки продуктов питания с высокой антиоксидантной активностью // Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 90–95.
9. Михайлов Е.С., Михайлова С.А. Использование природных антиоксидантов в производстве мучных кондитерских изделиях // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2024. № 1. С. 65–71.
10. Торосян Г.О., Оганесян Н.Р., Петросян М.З., Айрапетян Е.М. Использование плодов и семян шиповника в качестве антиоксиданта в шоколадных изделиях // Охрана окружающей среды – основа безопасности страны : материалы Международной научной экологической конференции. Краснодар : Кубанский ГАУ имени И.Т. Трубилина, 2022. С. 22–26.

Информация об авторах

Г. О. Магомедов – д. т. н., заведующий кафедрой технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств Воронежского государственного университета инженерных технологий.

Л. А. Лобосова – к. т. н., доцент кафедры технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств Во-

воронежского государственного университета инженерных технологий.

А. С. Бородкина – магистр кафедры технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств Воронежского государственного университета инженерных технологий.

REFERENCES

1. Kasyanov, G.I. (2023). Technology of obtaining food additives from barberry, fig, sea buckthorn and rosehip fruits. *Proceedings of the 8-th international scientific and practical conference «Bakery, confectionery and pasta products of the 21st century»*. Krasnodar : KSTU, 2023. (In Russ.).
2. Zavalishina, O.M. (2023). The use of rosehip fruit powder in the pastry recipe *Proceedings of the 2-th international scientific and practical conference «Modern aspects of production and processing of agricultural products»*. Barnaul : Altai State University, 2023. (In Russ.).
3. Kovaleva, A.E. (2019). The effect of wild rose hips fruit powder on the consumer properties of biscuits. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy*, 1, 256-262. (In Russ.). doi: 10.20914/2310-1202-2023-4.
4. Miroshnikova, T.N. (2001). Development of technology for functional confectionery products with extended shelf life using semi-finished products of medicinal plants. Extended abstract of candidate's thesis. Moscow. (In Russ.).
5. Zhukov, S.A., Starkova, A.V. & Kovaleva, A.E. (2023). Development of a recipe for handmade sweets «Praline bars» and production technology. *Proceedings of the international scientific and practical conference «Food industry in modern conditions»*. Orel : Oryol State University named after N.V. Parakhin, 2023. (In Russ.).
6. Potekina, E. (2022). Praline type candies: secrets of technologists. *Confectionery and bakery production*, № 11-12(202), 23-25. (In Russ.).

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

Статья поступила в редакцию 08 мая 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 08 May 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.

7. Kondratiev, N.B., Osipov, M.V. & Kazantsev, E.V. (2021). The effect of fat migration on oxidative processes in glazed candies. *Food industry*, № 12, 87-90. (In Russ.). doi: 10.52653/PPI.2021.12.12.017.

8. Mayumikova, L.A., Bychkova, E.S., Lomovsky, I.O., Belyakova, D.A. & Bychkov, A.L. (2021). Methodology for the development of food products with high antioxidant activity. *Polzunovskiy vestnik*. (4). 90-95. (In Russ.).

9. Mikhailov, E.S. & Mikhailova, S.A. (2024). The use of natural antioxidants in the production of flour confectionery products. Technologies of the food and processing industry of the agroindustrial complex - healthy food products. (1), 65-71. (In Russ.).

10. Torosyan, G.O., Oganessian, N.R., Petrosyan, M.Z. & Airapetyan, E.M. (2022). The use of rosehip fruits and seeds as an antioxidant in chocolate products. *Proceedings of the international scientific environmental conference «Environmental protection is the basis of the country's security»*. Krasnodar : Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin. (In Russ.).

Information about the authors

G.O. Magomedov - Doctor of Technical Sciences, head of the department of "Technologies of baking, confectionery, pasta and grain processing production" of Voronezh State University of Engineering Technologies.

L.A. Lobosova - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of "Technologies of Bakery, Confectionery, Pasta and Grain Processing Production" of Voronezh State University of Engineering Technologies.

A.S. Borodkina - Master of the Department of "Technologies of Bakery, Confectionery, Pasta and Grain Processing Production", Voronezh State University of Engineering Technologies.



Научная статья

4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)

УДК 664.6

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.023



НОВЫЕ ИНГРЕДИЕНТЫ В ТЕХНОЛОГИИ ВАРЕНЫХ КОЛБАСНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Наталья В. Щукина¹, Надежда Александровна Величко²,
Екатерина Николаевна Аёшина³

^{1,2} Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

³ Сибирский государственный университет науки технологий имени академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия

¹ vena@kgau.ru

² vena@kgau.ru

³ sibsau.ru@mail.ru

Аннотация. В статье приводятся рецепты вареных мясных изделий – сосисок с добавлением ягодных выжимок красной смородины в различных дозировках. Были изготовлены 4 образца колбасных изделий: контрольный и 3 опытных образца с добавлением растительного компонента – порошка ягодных выжимок красной смородины 1, 2, 3 % к массе мясного фарша. Экспериментальный образец № 2, в котором добавка растительного компонента составляет 2 %, т.е. 20 г на 1 кг мясного сырья, по сравнению с другими опытными образцами, имел наилучшие органолептические показатели.

Разработаны этапы получения мясного изделия с ягодными выжимками красной смородины. Порошок из ягодных выжимок красной смородины вносили на этапе составления мясного фарша. Добавление ягодного порошка красной смородины будет способствовать расширению ассортимента данного вида мясных изделий, повышению пищевой ценности продукта за счет содержания физиологически значимых соединений в ягодном компоненте, снижению себестоимости продукции.

Ключевые слова: выжимки, красная смородина, сосиски, рецептура, порошок, показатели качества.

Для цитирования: Щукина Н. В., Величко Н. А., Аёшина Е. Н. Новые ингредиенты в технологии вареных колбасных изделий // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 141–144. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.023. EDN: <https://elibrary.ru/ZMBJDB>.

Original article

NEW INGREDIENTS IN TECHNOLOGY OF BOILED SAUSAGES

Natalia V. Shchukina¹, Nadezhda A. Velichko², Ekaterina N. Ayoshina³

^{1,2} Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

³ Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia

¹ vena@kgau.ru

² vena@kgau.ru

³ sibsau.ru@mail.ru

Abstract. The article presents recipes for boiled meat products - sausages with the addition of berry pomace of red currant in various dosages. 4 samples of sausage products were made: a control and 3 prototypes with the addition of a vegetable component - a powder of berry pomace of red currant 1, 2, 3% by weight of minced meat. Experimental sample No. 2, in which the addition of the vegetable component is 2%, i.e. 20 g. per 1 kg of meat raw materials, compared with other experimental samples, had the best organoleptic characteristics. The stages of obtaining a meat product with berry extracts of red currant have been developed. Powder from berry pomace of red currant was introduced at the stage of preparation of minced meat. The addition of red currant berry powder will help expand the range of this type of meat products, increase the nutritional value of the product due to the content of physiologically significant compounds in the berry component, and reduce the cost of production.

Keywords: pomace, redcurrant, sausages, formulation, powder, quality indicators.

For citation: Shchukina, N.V., Velichko, N.A. & Ayoshina, E.N. (2025). New ingredients in the technology of boiled sausages. Polzunovskiy vestnik. (3), 141-144. (In Russ). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.023. EDN: <https://elibrary.ru/ZMBJDB>.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящий момент в производстве различных мясных продуктов, полуфабрикатов наблюдается тенденция использования в их составе нетрадиционных видов растительного сырья [1–10]. Одним из потенциальных компонентов в рецептурах мясных из-

делий могут быть ягодные выжимки, получаемые при производстве сока. Порошок выжимок ягод получают путем высушивания в сушильном шкафу при щадящих температурах (55–60 °С). Они имеют густую консистенцию и большое содержание физиологически значимых веществ, таких как витамины С, А, Е и

© Щукина Н. В., Величко Н. А., Аёшина Е. Н., 2025

группы В, а также физиологически значимые минеральные элементы. Флавонолы, содержащиеся в выжимках, помогают при различных патологиях в организме человека. Антиоксиданты, входящие в состав ягодных выжимок, инактивируют действие свободных радикалов в организме и снижают риск развития онкологических заболеваний, способствуют повышению иммунного статуса. Нерастворимые волокна нормализуют процесс переваривания пищи, улучшают работу кишечника. В работе рассматривается возможность использования в рецептуре вареных колбасных изделий в качестве ингредиента порошка из ягодных выжимок красной смородины. Химический состав ягодных выжимок из плодов красной смородины включает: белки. 0,1–0,3 %, жиры. 1,2–2,0 %, углеводы 16–40 %, зольные вещества 3,0–5,0%, пищевые волокна. 43,0–49,0 %, в том числе клетчатка – 42,0–48,0 %, пектин – 0,02–0,1 %, органические кислоты, 0,05–0,2 %, витамины β-каротин (0,00002–0,0002 %), тиамин (В1) (0,0007–0,003 %), рибофлавин (В2) (0,0002–0,001 %), пиридоксин (В6) (0,00001–0,0001 %), ниацин (РР) (0,0005–0,003 %), аскорбиновая кислота (С) (0,004–0,1%), макро- и микроэлементы 0,00915–0,2 %, в том числе натрий (0,0004–0,002 %), кальций (0,006–0,03 %), магний (0,002–0,01 %), фосфор (0,0–0,00005 %), железо (0,0001–0,001 %), марганец (0,0006–0,002 %), медь (0,00001–0,0001 %), цинк (0,00004–0,0002 %) [11].

Цель работы: разработать рецептуры сосисок с добавлением порошка ягодных выжимок красной смородины и провести оценку качества разработанного продукта.

Задачи исследования:

- разработать рецептуры сосисок с добавлением порошка ягодных выжимок красной смородины;
- определить органолептические и физико-химические показатели изделий;
- разработать этапы получения мясного изделия с ягодными выжимками красной смородины.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования были контрольный и опытные образцы вареных колбасных изделий (сосисок) из мяса птицы. Органолептическая оценка и физико-химические показатели сосисок из мяса птицы с добавлением ягодного порошка из выжимок красной смородины определяли согласно ГОСТу 31639-2012 «Изделия колбасные вареные из мяса птицы. Общие технические условия».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В процессе проведения исследования были изготовлены вареные колбасные изделия (сосиски) из мяса птицы (филе бедра) с добавлением порошка из выжимок красной смородины в различной дозировке.

Были разработаны 4 образца колбасных вареных изделий – сосисок (рис. 1): контрольный и 3 опытных образца с добавлением растительного

Таблица 1 – Рецептуры сосисок из мяса птицы с добавлением порошка из ягодных выжимок красной смородины

Table 1 – Recipes of poultry sausages with the addition of red currant berry powders

Рецептурный ингредиент	Образцы рецептур			
	Контрольный образец	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
1	2	3	4	5
Филе куриное, г	800	790	780	770
Кожа цб, г	200	200	200	200
Порошок из ягодных выжимок красной смородины, г	–	10	20	30
Соль, г	11	11	11	11

компонента – порошка ягодных выжимок красной смородины в количестве 1, 2, 3 % к массе мясного фарша. Процесс производства данного вида колбасных изделий включает следующие этапы: подготовка основного (разделка, обвалка, жиловка) и дополнительных видов сырья; предварительное измельчение и посол мяса; фаршесоставление; формование и термическая обработка. Предварительно подготовленное, посоленное и созревшее мясо направляют в куттер, где оно измельчается в течение 6–10 мин. для получения фарша. Фарш для вареных колбасных изделий, в т.ч. и сосисок, имеет однородную консистенцию. Готовым фаршем наполняют искусственные оболочки и формируют ручным или механизированным способом батончики соответствующего размера; заготовки развешивают на вешала и отправляют на осадку (в течение 1 часа), обжарку (при температуре 60–70 °С в течение 40–50 мин), варку (при температуре 75–85 °С в течение 15–20 мин.) и охлаждение (при температуре 8–10 °С в течение 2–3 часов).



Рисунок 1 – Образцы сосисок изготовленных по рецептуре с добавлением растительного компонента – порошка ягодных выжимок красной смородины

Figure 1 – Samples of sausages made according to the recipe with the addition of a vegetable component – red currant berry pomace powder



Рисунок 2 – Вид на разрезе контрольного и опытных образцов

Figure 2 – Cross-sectional view of the control and experimental samples

Рецептуры сосисок из мяса птицы с добавлением ягодного порошка из выжимок красной смородины приведены в таблице 1. В готовом продукте были определены органолептические показатели (табл. 2).

НОВЫЕ ИНГРЕДИЕНТЫ В ТЕХНОЛОГИИ ВАРЕНЫХ КОЛБАСНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Продолжение таблицы 1 / Continuation of table 1

1	2	3	4	5
Посолочная смесь Лаксанит 0,9г				
Доб. Целльэмулин, г	9	9	9	9
Доб. Русская, г	10	10	10	10
Доб. МолПро 700Б, г	5	5	5	5
	10	10	10	10

Таблица 2 – Органолептические показатели качества готовой продукции

Table 2 – Organoleptic indicators of finished product quality

Показатели качества	Образцы			
	Контрольный	№ 1	№ 2	№ 3
Внешний вид	Поверхность чистая, сухая, без повреждений оболочки	Поверхность чистая, сухая, без повреждений оболочки	Поверхность чистая, сухая, без повреждений оболочки	Поверхность чистая, сухая, без повреждений оболочки
Консистенция	Плотная	Плотная	Плотная	Плотная
Вид на разрезе	Фарш равномерно перемешан, с допуском наличием мелкой пористости	Фарш равномерно перемешан, с допуском наличием мелкой пористости с вкраплением ягодного порошка	Фарш равномерно перемешан, с допуском наличием мелкой пористости, более выраженным вкраплением ягодного порошка	Фарш (более темного цвета), равномерно перемешан, с допуском наличием мелкой пористости, с ярко выраженным вкраплением ягодного порошка
Запах и вкус	Свойственный	Свойственные данному виду продукта, с ароматом пряностей, вкус и запах растительного компонента не ощущается	Свойственные данному виду продукта, с легким привкусом ягодного порошка, специфический запах отсутствует	Вкус мясной с выраженным привкусом растительного компонента, присутствует легкий запах добавки
Форма и размер	Цилиндрическая форма ; размер сечения 20,0 мм	Цилиндрическая форма; размер сечения 20,0 мм	Цилиндрическая форма размер сечения 20,0 мм	Цилиндрическая форма размер сечения 20,0 мм

Проведенная органолептическая оценка сосисок из мяса птицы с добавлением ягодного порошка из выжимок красной смородины показала соответствие нормативным показателям действующему ГОСТу 31639-2012 «Изделия колбасные вареные из

мяса птицы. Общие технические условия». Наилучшие органолептические показатели установлены в опытном образце № 2, содержащем 2 % ягодного порошка. Были определены физико-химические показатели разработанных образцов (табл. 3).

Таблица 3 – Физико-химические показатели сосисок из мяса птицы с добавлением порошка из ягодных выжимок красной смородины

Table 3 – Physico-chemical parameters of poultry sausages with the addition of red currant berry pomace

Наименование показателя	Значение показателя в соответствии с ГОСТ 31501-2012	Контрольный образец	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
Массовая доля хлористого натрия, %	не более 2,5	2,0	2,0	2,0	2,0
Массовая доля влаги, %	—	67,9	67,6	67,6	67,4

Из полученных результатов (табл. 3) следует, что опытные образцы сосисок из мяса птицы с добавлением ягодного порошка из выжимок красной смородины по физико-химическим показателям соответствуют таковым по ГОСТу 31639-2012 «Изделия колбасные вареные из мяса птицы. Общие технические условия».

ВЫВОДЫ

Разработаны рецептуры сосисок с добавлением ягодных выжимок красной смородины. Установлена дозировка, обеспечивающая наилучшие органолептические показатели – 2 % (20 г на 1 кг мясного сырья).

Опытные образцы сосисок из мяса птицы с добавлением порошка из ягодных выжимок красной смородины по качественным характеристикам соответствуют нормативным.

Разработаны этапы получения мясного изделия с ягодными выжимками красной смородины. Порошок из ягодных выжимок красной смородины вносится на этапе приготовления мясного фарша. Добавление ягодного порошка красной смородины будет способствовать расширению ассортимента данного вида мясных изделий, повышению пищевой ценности продукта за счет содержания физиологически значимых соединений в ягодном компоненте, снижению себестоимости продукта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Липатова Л.П., Егорова В.А. Пути улучшения изделий из мяса для получения функциональных продуктов / Л.П. Липатова, В.А. Егорова / Учредители: Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова (Москва). 2015. № 4 (22). С. 297–313.

2. Величко Н.А., Мельникова Е.В., Аёшина Е.Н. Использование выжимок брусники в рецептурах рубленых полуфабрикатов из мяса птицы / Н.А. Величко, Е.В. Мельникова, Е.Н. Аёшина // Ползуновский вестник 2023. № 3. С. 53–57.

3. Карапетян А.М., Величко Н.А. Перспективы применения растительного компонента ALLIUM SATIVUM в рецептурах мясных полуфабрикатов / А.М. Карапетян, Н.А. Величко // Вестник КрасГАУ. 2022. № 5. С. 185–191.

4. Рыгалова Е.А., Шароглазова Л.П., Величко Н.А. Применение выжимок морозики в производстве мясных хлебов / Е.А. Рыгалова, Л.П. Шароглазова, Н.А. Величко // Вестник КрасГАУ. 2022. № 3 С. 190–198.

5. Вайтанис М.А., Ходырева З.Р. Исследование качества мясорастительных фаршей на основе мяса кролика / М.А. Вайтанис, З.Р. Ходырева // Вестник КрасГАУ. 2023. № 9. С. 170–175.

6. Айрапетян А.А. Применение растительных компонентов в технологии вареной колбасы / Айрапетян А.А., Манжесов В.И. // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2021. № 1(16). С. 89–94.

7. Божкова С.Е. Разработка рецептуры и технологии вареного мясного рулета с растительными ингредиентами / С.Е. Божкова, А.М. Синельник, Д.Н. Пилипенко [и др.] // Аграрно-пищевые инновации. 2020. № 1(9). С. 56–65.

8. Hayrapetyan A.A. The development of technology for functional food products on based on combination of raw materials of vegetable and meat origin / A.A. Hayrapetyan, V.I. Manzhosov, S.Yu. Churikova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : 6th International Conference on Agriproducts Processing and Farming, Voronezh, 17–18 октября 2019 г. Voronezh : Institute of Physics Publishing, 2020. P. 012040.

9. Бузова В.В. Изделия колбасные вареные с использованием кабачковой муки / В.В. Бузова, О.А. Княжеченко, С.В. Шинкарева, Е.А. Селезнева // Сборник научных трудов по итогам Международной научно-практической конференции. 2017. № 4. С. 39–41.

10. Сычева О.В. Использование продуктов переработки растительного сырья в технологии мясных полуфабрикатов / О.В. Сычева, Е.А. Скорбина, И.А. Трубина, С.А. Измайлова, Д.А. Измайлова // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2017. № 4. С. 43–48.

11. Емельянов А.А., Шалимова О.А. Патент № 2398478 «Биологически активная пищевая добавка красносмородиновая», 2010.

Информация об авторах

Н. В. Щукина – магистр кафедры технологии консервирования и пищевой биотехнологии Института пищевых производств ФГБОУ ВО Красноярский государственный аграрный университет.

Н. А. Величко – д.т.н., профессор, зав. кафедрой кафедры технологии консервирования и пищевой биотехнологии Института пищевых производств ФГБОУ ВО Красноярский государственный аграрный университет.

Е. А. Аёшина – к.т.н., доцент кафедры инженерной графики ФГБОУ ВО Сибирский государственный университет имени академика М.Ф. Решетнёва.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 18 мая 2025; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 18 May 2025; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.

REFERENCES

1. Lipatova, L.P. & Egorova, V.A. (2015). Ways to improve meat products for obtaining functional products. Founders: G.V. Plekhanov Russian University of Economics (Moscow). № 4 (22). С. 297–313. (In Russ.).

2. Velichko, N.A., Melnikova, E.V. & Ayoshina, E.N. (2023). Use of lingonberry squeeze in the formulation of chopped semi-finished poultry meat. Polzunovskiy Vestnik. (3), 53–57. (In Russ.).

3. Karapetyan, A.M. & Velichko, N.A. (2022). Prospects for the use of plant component ALLIUM SATIVUM in the formulation of meat products. Vestnik KrasSAU. (5). 185–191. (In Russ.).

4. Rygalova, E.A., Sharoglazova, L.P. & Velichko, N.A. (2022). Application of cloudberry squeeze in the production of meat bread. Vestnik KrasSAU. (3), 190–198. (In Russ.).

5. Vaitanis, M.A. & Khodyreva, Z.R. (2023). Investigation of the quality of meat stuffing on the basis of rabbit meat. Vestnik KrasSAU. (9). 170–175. (In Russ.).

6. Ayrapetyan, A.A. & Mangesov, V.I. (2021). Application of vegetable components in the technology of boiled sausage. Technology and commodity management of agricultural products. Voronezh: FGBOU VO Voronezh GAU, 1(16). 89–94. (In Russ.).

7. Bozhkova, S.E., Sinelnik, A.M., Pilipenko, D.N. [et al.]. (2020). Recipe development and technology of cooked meat roll with vegetable ingredients. Ag-food innovations. 1(9). 56–65. (In Russ.).

8. Hayrapetyan, A.A., Manzhosov, V.I., Churikova, S.Yu. (2020). The development of technology for functional food products based on combination of raw materials of vegetable and meat origin. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : 6th International Conference on Agriproducts Processing and Farming, Voronezh, October 17–18, 2019. Voronezh : Institute of Physics Publishing, 2020. P. 012040. (In Russ.).

9. Buzova, V.V., Knyazhechenko, O.A., Shinkareva, S.V., Selezneva, E.A. (2017). Sausage products cooked with the use of zucchini flour. Collection of scientific papers on the results of the international scientific-practical conference. (4). 39–41. (In Russ.).

10. Sycheva, O.V., Skorбина, E.A., Trubina, I.A., Izmaylova, S.A. & Izmaylova, D.A. (2017). Use of vegetable raw material processing products in the technology of meat semi-finished products. Technologies of food and processing industry AIC - healthy food products. (4). 43–48. (In Russ.).

11. Emelyanov, A.A. & Shalimova, O.A. (2010). Patent No. 2398478 “Biologically active food additive redcurrant”, 2010. (In Russ.).

Information about the authors

N.V. Shchukina - Master of the Department of Canning Technology and Food Biotechnology, Institute of Food Production, Krasnoyarsk State Agrarian University.

H.A. Velichko - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Canning Technology and Food Biotechnology, Institute of Food Production, Krasnoyarsk State Agrarian University.

E.N. Ayoshina - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Engineering Graphics Department, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 633.19

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.024



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОРОЩЕННОГО ЗЕРНА В ТЕХНОЛОГИИ ЗЛАКОВЫХ БАТОНЧИКОВ

Анна Владимировна Снегирева¹, Анастасия Сергеевна Рандэ²

^{1,2} ФГБОУ ВО Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул, Россия

¹ sne.anna@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2461-1848>

² nekrasik-93@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрено исследование возможности использования пророщенного нута и крупы гречневой непропаренной в рецептуре злаковых батончиков, которые с каждым годом приобретают все большую популярность на рынке, однако имеют в составе достаточно большое количество углеводов и жиров. В результате исследований установлено, что пророщенный нут необходимо сушить в сублимационной сушилке до влажности менее 14 %, пророщенную крупу гречневую конвекционным способом при 150 °С в течение 11 минут. Для лучшей формовки и улучшения структурно-механических свойств батончиков высушенную крупу необходимо размалывать до размера частиц, проходящих через металлочное сито № 08. С целью добавления сладкого вкуса и обеспечения связующих свойств в рецептуру необходимо вносить 30 % подготовленных измельченных фиников. При определении массовой доли влаги в батончиках было установлено, что этот показатель не превышает требований нормативной документации. Расчет пищевой ценности показал, что батончики можно отнести к функциональным продуктам, систематическое употребление которых позволяет обогатить рацион питания такими нутриентами, как белок, пищевые волокна, витамины B6 и B9, калий, магний и фосфор. В отличие от большинства батончиков, представленных на рынке, разработанные батончики имеют меньшее содержание жира, большее – белка и пищевых волокон. При оценке отличительных признаков установлены такие благоприятные эффекты, способствующие наращиванию мышечной массы, усилению перистальтики кишечника, нормализации энергетического обмена, нормальному функционированию нервной системы, поддержанию нормального состояния костей, нормальному функционированию мышц, включая сердечную мышцу.

Ключевые слова: нут, крупа гречневая непропаренная, ламинирии слоевища сушеные, проращивание, финики, батончик, конфеты.

Благодарности: Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки РФ (№ 075-03-2024-105, номер темы FZMM-2024-0003, рег. № НИОКТР 124013000666-5).

Для цитирования: Снегирева А. В., Рандэ А. С. Использование пророщенного зерна в технологии злаковых батончиков // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 145–148. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.024. EDN: <https://elibrary.ru/ZUGMOO>.

Original article

USE OF GERMINATED GRAIN IN TECHNOLOGY OF GRAIN BARS

Anna V. Snegireva¹, Anastasia S. Rande²

^{1,2} Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

¹ sne.anna@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2461-1848>

² nekrasik-93@mail.ru

Abstract. The article discusses the possibility of using sprouted chickpeas and raw buckwheat in the formulation of cereal bars, which are becoming increasingly popular in the market every year, but contain a significant amount of carbohydrates and fats. The research findings indicate that sprouted chickpeas should be dried in a freeze-drier to a moisture content of less than 14%, while sprouted buckwheat should be dried using a convection method at 150°C for 11 minutes. For better formability and improved structural and mechanical properties of the bars, the dried cereal must be ground to a particle size that passes through a No. 08 metal-mesh sieve. To add a sweet taste and provide binding properties, 30% of the prepared ground dates must be added to the recipe. When determining the moisture content of the bars, it was found that this value does not exceed the requirements of the regulatory documentation. The calculation of nutritional value showed that the bars can be classified as functional products, the systematic use of which allows to enrich the diet with such nutrients as: protein, dietary fiber, vitamins B6 and B9, potassium, magnesium and phosphorus. In contrast to most bars on the market, the developed bars have a lower fat content, higher protein and dietary fiber content. When assessing the distinguishing features, the following beneficial effects have been identified: promotes muscle growth, enhances intestinal peristalsis, normalizes energy metabolism, promotes normal functioning of the nervous system, maintains normal bone health, and promotes normal functioning of muscles, including the heart muscle.

Keywords: chickpeas, buckwheat groats, dried kelp, sprouting, dates, bar, and sweets.

© Снегирева А. В., Рандэ А. С., 2025

Acknowledgments: The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (No. 075-03-2024-105, topic number FZMM-2024-0003, reg. R&D No. 124013000666-5).

For citation: Snegireva, A.V. & Rande, A.S. (2025). Use of germinated grain in technology of grain bars. Polzunovskiy vestnik, (3), 144-148. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.024. EDN: <https://elibrary.ru/ZUGMOO>.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование отечественного продовольственного рынка, проведенное в 2024 г. компаниями «NIQ» и «Nielsen», свидетельствует о высокой динамике развития сектора злаковых батончиков. Данный продукт имеет высокую популярность у различных категорий потребителей и занимает особое место в продовольственной корзине. Согласно исследованиям, за период 2023–2024 гг. реализуемость ассортимента батончиков выросла на 62,9 % в сравнении с прошлыми показателями [1, 2].

Особую популярность приобретают злаковые батончики среди людей, занимающихся спортом, и студентов благодаря тому, что батончики не требуют особых условий хранения и удобны в употреблении.

Изучение составов злаковых батончиков, проведенные группой ученых из российских университетов, показало значительное содержание быстроусвояемых углеводов и жиров, обусловленное использованием производителями в рецептурах крахмальной патоки и растительных масел [3].

Тогда как анализ рациона питания студентов медицинского университета выявил недостаток белка у 87,5 % юношей, занимающихся физической культурой (первая группа), и 50,0 % юношей с низкой физической активностью (вторая группа). Среди девушек нехватка белка была распространена среди 56,4 % первой группы и 76,9 % девушек, не занимающихся спортом [4].

Прекрасным источником белка являются бобовые культуры, среди которых особый интерес вызывает нут. Нут выделяется своим нейтральным вкусом и высоким содержанием таких нутриентов, как калий, магний, пищевые волокна, селен и кобальт, оказывающих благоприятное воздействие на сердечно-сосудистую систему и в целом на организм человека [5, 6, 7].

Также известно, что селен способствует лучшему усвоению йода, который по-прежнему является дефицитным в рационе питания современного человека.

Не меньше селена содержится в крупе гречневой непропаренной, часто выступающей в качестве сырья для безглютеновых изделий [8].

Также зерновые культуры содержат ряд антипитательных факторов, которые препятствуют усвоению незаменимых нутриентов. Наиболее распространенные антипитательные вещества, присутствующие в растительном материале, включают сапонины, дубильные вещества, фитаты, полифенольные соединения и ингибиторы протеаз. Эти компоненты влияют на питательную ценность крупяных продуктов, препятствуя перевариванию белков, усвоению железа и ряда макро- и микронутриентов, вплоть до появления интоксикации при попадании в организм человека в высоких концентрациях. В настоящее время в пищевой отрасли для инактивации таких пищевых антинутриентов используется несколько стратегий, которые включают в себя обработку зерновых культур, такую как измельчение, замачивание, проращивание, автоклавная и микроволновая обработка и ферментация [9].

Рядом исследований уже доказано положительное влияние проращивания на переваримость зерновых культур и нута [10, 11].

Целью данных исследований являлась разработ-

ка рецептуры злаковых батончиков из пророщенного нута и крупы гречневой непропаренной.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнение следующих задач:

- подбор способа подготовки пророщенной крупы гречневой и нута для использования в рецептуре батончиков;
- определение влияния рецептурных компонентов на показатели качества батончиков;
- разработка рецептуры батончиков;
- расчет пищевой ценности батончиков.

МЕТОДЫ

Работа проводилась на лабораторной базе ЦКИ «АлтайБиоЛакт» АлтГТУ.

В качестве материалов для исследования были использованы такие продукты, как:

- зерна нута, по качеству соответствующие ГОСТ 8758-76;
- крупа гречневая непропаренная, по качеству соответствующая ГОСТ 5550-2021;
- ламинария слоевища сушеные, соответствующие СТО 0088418944-006-2021;
- финики, соответствующие ГОСТ 32896-2014.

Определение массовой доли влаги в нуте и в крупе гречневой непропаренной проводилось в соответствии с методикой, описанной в ГОСТ 13586.5-2015.

Органолептическую оценку готовых злаковых батончиков проводили в соответствии с ГОСТ 31986-2012 и ГОСТ ISO 13299-2015 по следующим критериям: внешний вид, запах и вкус, цвет и вид в изломе, а также по структурно-механическим свойствам (твердость, вязкость, сцепление, склонность к разрушению, пережевываемость).

Пищевая ценность была определена расчетным путем с помощью справочников химического состава пищевых продуктов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для проведения исследований нут и крупу гречневую непропаренную проращивали в течение 48 ч в воде с добавлением 1 % ламинарии слоевищ сушеных при ранее установленных режимах [10, 11].

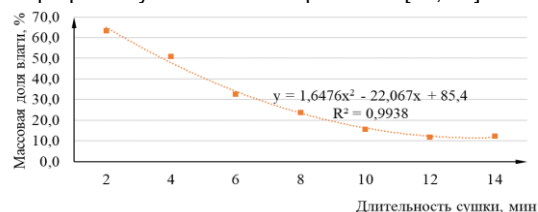


Рисунок 1 – Влияние длительности сушки на массовую долю влаги пророщенной крупы гречневой

Figure 1 – The effect of drying time on the mass fraction of moisture in sprouted buckwheat groats

Для дальнейшего использования в составе батончиков нут и крупу гречневую подвергали сушке в сублимационной сушилке до массовой доли влаги менее 14%. По истечении 24 ч нут высох и имел массовую долю влаги 9,9 %, тогда как крупа гречневая оставалась влажной и не просыхала. Было принято решение сушить пророщенную крупу конвекционным способом в

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2025

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОРОЩЕННОГО ЗЕРНА В ТЕХНОЛОГИИ ЗЛАКОВЫХ БАТОНЧИКОВ

печи кондитерской при температуре 150 °С. Каждые две минуты проводили отбор проб на определение влажности. Результаты исследований влияния длительности сушки на массовую долю влаги крупы гречневой представлены на рисунке 1.

Как видно из графика рисунка 1, с увеличением длительности сушки влажность пророщенной крупы активно снижается и достигает значений менее 14 % уже по истечении 11 мин.

В качестве связующего компонента и натурального подсластителя было принято использовать финики сушеные, которые предварительно перебирали, удаляя посторонние примеси, промывали и оставляли на сите для обсушивания. Из фиников извлекали косточки и измельчали при помощи блендера в вязкую однородную массу.

На начальном этапе высушенные нут и крупу гречневую добавляли в равном количестве по 45 г на 100 г батончиков, остальное финики. Однако 10 г фиников оказалось недостаточно, чтобы компоненты батончика соединились воедино. Поэтому дозировку фиников увеличивали до тех пор, пока это не позволило сформировать батончик.

вать батончик.

Поскольку одной из задач было увеличить содержание белка в батончике, то проводили увеличение количества нута в рецептуре с одновременным снижением количества крупы гречневой. Таким образом пришли к следующим дозировкам на 100 г батончика:

- 50 г пророщенного и высушенного нута;
- 20 г пророщенной высушенной крупы гречневой;
- 30 г пюре из фиников.

После проведения органолептической оценки было установлено, что несмотря на хорошую формуемость батончиков, крупа гречневая была жесткой и плохо разжевывалась, тогда как нут придавал приятный хруст, что ассоциировалось с хрустом орехов.

Опираясь на данные результаты, было решено измельчать крупу гречневую до размера частиц, проходящих через металлочанное сито № 08. После чего ингредиенты смешивали в тех же соотношениях и формовали батончики.

Внешний вид и вид в разрезе батончиков с мукой и цельной крупой представлены на рисунке 2.



Рисунок 2 – Внешний вид и вид в разрезе батончиков с пророщенными нут и крупой гречневой

Figure 2 – Appearance and section view of bars with sprouted chickpeas and buckwheat groats

Также была проведена органолептическая оценка структурно-механических свойств батончиков по пятибалльной шкале, результаты которой представлены на рисунке 3.



Рисунок 3 – Структурно-механические свойства батончиков

Figure 3 – Structural and mechanical properties of bars

В результате комплексной органолептической оценки было установлено, что пророщенный и высушенный в сублимационной сушилке нут в целом виде придает батончикам приятный хруст, тогда как крупу гречневую непропаренную после проращивания и сушки лучше использовать в измельченном виде.

В двух анализируемых образцах была определена массовая доля влаги как основного показателя, отражающего хранимоспособность готовых изделий (рис. 4).

Согласно классификации, такой вид батончиков можно отнести к конфетам, в состав которых входят сухофрукты. Опираясь на требования ГОСТ 4570-2014, массовая доля влаги не должна в них превышать 30 %. Измельчение пророщенной крупы до состояния муки вызывает, по-видимому, повышенную гигроскопичность, что сказывается на увеличении массовой доли влаги, однако показатель этот не превышает требований нормативной документации.

Таким образом, было решено использовать в составе батончиков измельченную крупу гречневую, на основании чего была разработана рецептура, приведенная в таблице 1.

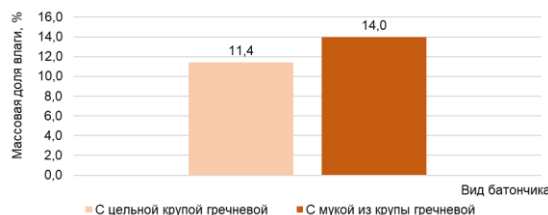


Рисунок 4 – Массовая доля влаги в батончиках из пророщенного зерна

Figure 4 – Mass fraction of moisture in sprouted grain bars

Таблица 1 – Рецептура батончиков из пророщенного зерна

Table 1 – Recipe of sprouted grain bars

Наименование сырья	Брутто, г	Нетто, г
Нут пророщенный высушенный	50,0	50,0
Мука из пророщенной крупы гречневой	20,0	20,0
Финики	40,0	30,0*
Выход	—	100,0

*масса измельченных фиников без косточки

Далее был приведен расчет пищевой ценности по основным показателям, представленный в таблице 2.

Таким образом, благодаря внесению пророщенного нута в батончике значительно увеличилось количество белка и пищевых волокон. Опираясь на требования ГОСТ Р 52349-2005 и ГОСТ Р 55577-2013, разработанные батончики можно отнести к функциональным продуктам питания, так как они содержат более 15 % от суточной нормы таких функциональных веществ, как белок, пищевые волокна, витамины B₆ и B₉, калий, магний и фосфор. Кроме того, продукт имеет низкое содержание жира в отличие от большинства батончиков, представленных на рынке.

При нанесении информации на маркировку

можно заявлять такие отличительные признаки, как «источник белка», «с низким содержанием жира», «с высоким содержанием пищевых волокон», «источник витаминов В₆ и В₉, калия, магния и фосфора».

Таблица 2 – Пищевая ценность батончиков из пророщенного зерна

Table 2 – Nutritional value of sprouted grain bars

Пищевые вещества	Средняя суточная потребность, %	Содержание в 100 г батончика	Процент удовлетворения от суточной потребности
Белки, г	75	13,4	17,7
Жиры, г	83	2,6	2,9
Углеводы, г	365	58,3	15,7
Пищевые волокна, г	30	7,4	24,9
Энергетическая ценность, ккал	2500	311,4	12,3
Витамин В ₆ , мг	2	0,3	59,4
Витамин В ₉ , мкг	200	284,3	142,0
Калий, мг	2500	621,1	24,9
Кальций, мг	1000	124,3	12,6
Магний, мг	400	93,4	23,4
Фосфор, мг	1000	288,9	28,9

При систематическом употреблении батончиков из пророщенных зерен ожидаются следующие благоприятные эффекты, способствующие наращиванию мышечной массы, усилению перистальтики кишечника, нормализации энергетического обмена, нормальному функционированию нервной системы, поддержанию нормального состояния костей, нормальному функционированию мышц, включая сердечную мышцу.

ВЫВОДЫ

Для использования в составе батончика пророщенный нут рекомендуется сушить в сублимационной сушилке до влажности не более 14 %, а крупу гречневую непропаренную – конвекционным способом в печи кондитерской на противне при температуре 150 °С в течение 11 минут.

Для улучшения процесса формирования батончика и его структурно-механических свойств высушенную крупу рекомендуется измельчать до состояния муки, частицы которой полностью проходят через металлотканое сито № 08.

Для обеспечения суточной потребности в основных пищевых веществах на 100 г батончика рекомендуется добавлять 50 г высушенного пророщенного нута, а для обеспечения связующих свойств и достаточно сладкого вкуса – 30 г измельченных фиников.

Массовая доля влаги разработанных батончиков при этом не превышает норм, установленных нормативной документацией, а пищевая ценность позволяет отнести батончики к функциональным продуктам и обогатить рацион питания такими нутриентами, как белок, пищевые волокна, витамины В₆ и В₉, калий, магний и фосфор.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Журавлев М.В., Новикова Ж.В., Степаненко И.Ю. Разработка рецептуры батончиков функционального назначения на основе экспандированного злакового сырья // Церевитиновские чтения 2022 : материалы VIII Международной научно-практической конференции, Москва, 01 апреля 2022 года. Москва : Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, 2022. С. 92–95.

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

Статья поступила в редакцию 18 мая 2025; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 18 May 2025; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.

2. Федосенко Т.В., Баженова А.Е., Журавлев М.В. Систематизация номенклатуры батончиков для разработки изделия со скорректированным нутриентным профилем // Международная научно-практическая конференция молодых учёных и специалистов отделения сельскохозяйственных наук Российской академии наук. 2024. № 1. С. 266–270.

3. Каморная Д.С., Журавлев М.В., Лавров М. С. Анализ качественного состава злаковых батончиков, производимых и поставляемых на отечественный потребительский рынок // Потребительский рынок проблемы качества и безопасности товаров и услуг : Материалы III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Орёл, 04 декабря 2024 г. Орёл: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, 2024. С. 201–205. EDN DJCEJL.

4. Нестерова С.А. Влияние занятий физической культурой на рацион питания студентов Медицинского института // Инновационные исследования: проблемы внедрения результатов и направления развития : Сборник статей международной научной конференции, Тюмень, 25 января 2024 г. Санкт-Петербург : ООО «Международный институт перспективных исследований имени Ломоносова», 2024. С. 5–6. EDN DZKBRR.

5. Агапова В.Н. Использование нута в кормлении теллят-мопленников : дис. ... канд. с/х наук : 06.02.08; Волгоград, 2016. 113 с.

6. Тазеддинова Д.Р., Тошев А.Д. Перспективы использования нута в производстве продуктов питания // Вестник КрасГАУ. 2022. № 11(188). С. 178–182. DOI 10.36718/1819-4036-2022-11-178-182. EDN TMGMDX.

7. Стародубова Ю.В., Сложенкина М.И., Горлов И.Ф., Сложенкин А.Б. Нут нового сорта селекции как перспективный текстурат и дополнительный источник селена и йода // Перспективные аграрные и пищевые инновации : Материалы Международной научно-практической конференции, Волгоград, 06–07 июня 2019 года / Под общей редакцией И.Ф. Горлова. Том 2. Волгоград: Общество с ограниченной ответственностью "СФЕРА", 2019. С. 263–266. EDN JWSEPB.

8. Урубов С.А., Хованская С.С., Смирнов С.О. Содержание селена в безглютеновой пищевой продукции // Вопросы питания. 2021. Т. 90, № 1(533). С. 102–107. DOI 10.33029/0042-8833-2021-90-1-102-107. EDN HBQVZF.

9. Samtiya M., Aluko R.E., Dhewa T. Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: an overview // Food Production, Processing and Nutrition. 2020. Vol. 2, № 1. P. 1–14. DOI 10.1186/s43014-020-0020-5. EDN DRWZS.

10. Snegireva A.V., Meleshkina L.E. Chickpea sprouting as a way to increase the garnish nutritional value // AIP Conference Proceedings, Ekaterinburg, 20 апреля 2021 г. Ekaterinburg, 2021. P. 030005. DOI 10.1063/5.0068798. EDN LDKIIV.

11. Снегирева А.В., Мелешкина Л.Е., Мусина О.Н. Экстракт ламинарии слоевища сушеного (*Laminaria thallus*) как средство стимулирования прорастания и перевариваемости овса и гречихи // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2024. Т. 14, № 3(50). С. 383–393. DOI 10.21285/achb.937. EDN XNVZXA.

Информация об авторах

А. В. Снегирева – кандидат технических наук, доцент, с.н.с. ЦКИ «АлтайБиоЛакт» АлтГТУ.

А. С. Рандэ – инженер-исследователь ЦКИ «АлтайБиоЛакт» АлтГТУ.

Information about the authors

A. V. Snegireva - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher at the AltaiBio-lact Research Center of the ASTU.

A. S. Rande - is a research engineer at the AltaiBio-lact Research Center of the ASTU.



РАЗДЕЛ 2. ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАУКИ О МАТЕРИАЛАХ, МЕТАЛЛУРГИЯ

Научная статья

2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов (технические науки)

УДК 621.793.79

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.025



ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Al-Co-Cr-Fe-Mn и Co-Cr-Fe-Mn-Ni, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ

Роман Евгеньевич Крюков ¹, Алексей Романович Михно ²,
Ирина Алексеевна Панченко ³, Сергей Валерьевич Коновалов ⁴,
Станислав Сергеевич Перов ⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия

¹ rek_nzrmk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3394-7941>

² mikno-mm131@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7305-6692>

³ i.r.i.ss@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1631-9644>

⁴ konovalov@sibsiu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4809-8660>

⁵ stas.perov.2005@inbox.ru

Аннотация. В условиях научно-производственного центра «Сварочные процессы и технологии» изготовлены исследовательские образцы порошковых электродных проволок системы алюминий – кобальт – хром – железо – марганец и кобальт – хром – железо – марганец – никель. Изготовление электродной проволоки системы алюминий – кобальт – хром – железо – марганец осуществлялось путем заполнения оболочки из стали 08Пс. Электродная проволока системы кобальт – хром – железо – марганец – никель изготовлена путем заполнения оболочки из стали 12Х18Н9. Наполнителем изготавливаемых порошковых проволок являлись следующие легирующие компоненты: хромистый порошок с содержанием хрома не менее 98,5 %; металлический марганец с содержанием марганца не менее 99,7 %; алюминиевая крошка; кобальтовый электролитический порошок с содержанием кобальта не менее 99 %; никелевый карбонильный порошок с содержанием никеля не менее 99,5 %. Методом автоматической электродуговой сварки под слоем флюса ОК FLUX 10.71 (ESAB) проведено наплавление изготовленных электродных проволок на сталь 9MnSi5. Из поверхности наплавленных образцов методом электроэрозионной резки изготовлена серия образцов для изучения распределения и усвоения химических элементов, проведения испытаний на растяжение, ударную вязкость, изучения микротвердости. Полученные результаты распределения и усвоения химических элементов свидетельствуют о том, что наплавленные электродными проволоками образцы имеют порядка 60–70 % Fe и 30–40 % вводимых легирующих компонентов. Покрытие, полученное путем наплавления электродной проволоки системы алюминий – кобальт – хром – железо – марганец, достаточно твердое, но при этом хрупкое (микротвердость наплавленного слоя в два раза выше, чем у подложки – стали 9MnSi5). Сплав, полученный путем наплавления электродной проволоки системы кобальт – хром – железо – марганец – никель, позволяет получить наплавленный слой на 15 % тверже, чем подложка. При этом полученный сплав обладает достаточно высокими показателями ударной вязкости и предела прочности при растяжении.

Ключевые слова: порошковая проволока, электродуговая наплавка, микротвердость, высокоэнтропийные материалы, микроструктура.

Благодарности: авторы выражают признательность коллегам за помощь, благодарность за финансовую поддержку исследования Российский научный фонд. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-00350, <https://rscf.ru/project/23-29-00350>.

Для цитирования: Физико-механические свойства сплавов системы Al-Co-Cr-Fe-Mn и Co-Cr-Fe-Mn-Ni, полученных методом дуговой наплавки порошковой проволоки / Р. Е. Крюков [и др.] // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 149–153. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.025. EDN: <https://elibrary.ru/YJEFWU>.

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF SYSTEM ALLOYS Al-Co-Cr-Fe-Mn and Co-Cr-Fe-Mn-Ni OBTAINED BY METHOD OF ARC SURFACING OF FOX-CORED WIRE

Roman E. Kryukov ¹, Alexey R. Mikhno ², Irina A. Panchenko ³,
Sergey V. Kononov ⁴, Stanislav S. Perov ⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Siberian State Industrial University", Novokuznetsk, Russia

¹ rek_nzrmk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3394-7941>

² mikno-mm131@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7305-6692>

³ i.r.i.ss@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1631-9644>

⁴ kononov@sibsiu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4809-8660>

⁵ stas.perov.2005@inbox.ru

Abstract. In the conditions of the research and production center "Welding Processes and Technologies", re-search samples of flux-cored electrode wires of the aluminum - cobalt - chromium - iron - manganese and cobalt - chromium - iron - manganese - nickel system were manufactured. The production of electrode wire of the aluminum - cobalt - chromium - iron - manganese system was carried out by filling a shell of 08PS steel. Electrode wire of the cobalt - chromium - iron - manganese - nickel system is made by filling a shell of steel 12X18H9. The filler of the manufactured flux-cored wires were the following alloying components: chromium powder with a chromium content of at least 98.5 %; metallic manganese with a manganese content of at least 99.7 %; aluminum chips; cobalt electrolytic powder with a cobalt content of at least 99 %; nickel carbonyl powder with a nickel content of at least 99.5 %. Using the method of automatic electric arc welding under a layer of flux OK FLUX 10.71 (ESAB), the manufactured electrode wires were deposited onto 9MnSi5 steel. A series of samples were made from the surface of deposited samples using electrical discharge cutting to study the distribution and absorption of chemical elements, conduct tensile tests, impact strength, and study microhardness. The obtained results of the distribution and assimilation of chemical elements indicate that the samples deposited with electrode wires have about 60-70 % Fe and 30-40 % of the introduced alloying components. The coating obtained by fusing electrode wire of the aluminum - cobalt - chromium - iron - manganese system is quite hard, but at the same time fragile (the microhardness of the deposited layer is two times higher than that of the substrate - 9MnSi5 steel). The alloy obtained by fusing electrode wire of the cobalt - chromium - iron - manganese - nickel system allows us to obtain a deposited layer that is 15 % harder than the substrate. At the same time, the resulting alloy has fairly high impact strength and tensile strength.

Keywords: flux-cored wire, arc welding, microhardness, high-entropy materials, microstructure.

Acknowledgements: The authors are grateful to their colleagues for their help, and to the Russian Science Foundation for financial support of the study. The study was supported by the Russian Science Foundation Grant No. 23-29-00350, <https://rscf.ru/project/23-29-00350>.

For citation: Kryukov, R.E., Mikhno, A.R., Kononov, S.V., Panchenko, I.A. & Perov, S.S. (2025). Physical and mechanical properties of system alloys Al-Co-Cr-Fe-Mn and Co-Cr-Fe-Mn-Ni obtained by method of arc surfacing of FOX-Cored Wire. Polzunovskiy vestnik, (3), 149-153. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.025. EDN: <https://elibrary.ru/YJEFWU>.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время существует множество методов и технологий для создания неразъемных соединений и покрытий на металлах и сплавах с использованием электрической дуги [1–3]. Поскольку до 80 % аварий и поломок в машинах и механизмах связаны с износом, целесообразно использовать для восстановления изношенной поверхности электродуговую наплавку и электродуговые покрытия. Применение этих технологий способствует увеличению долговечности и срока службы стальных деталей и изделий в условиях интенсивного абразивного износа, коррозии и эрозии под воздействием агрессивной окружающей среды [4–7].

Дуговая сварка с применением порошковых проволок представляет собой один из самых экономичных и высокопроизводительных методов, способствующих достижению выдающегося качества неразъемных соединений [8–10]. В условиях высокоэнергетического воздействия электрической дуги, температура которой может достигать порядка шести тысяч градусов, в металле неразъемных соединений, а также в основе восстанавливаемой изношенной поверхности происходит

сложный комплекс взаимосвязанных физических, физико-химических и теплофизических процессов. Эти явления сопровождаются изменениями агрегатного состояния, микро- и макроструктуры, дислокационной субструктуры, а также химического и фазового состава, что имеет решающее значение для формирования необходимых эксплуатационных свойств [11–13].

В последние десять лет наблюдается стремительное развитие технологий электродуговой сварки и наплавки с использованием порошковых электродных проволок, а также создание широкого спектра новых сварочных материалов, с расширением сфер их применения [14–17]. В связи с этим актуальной научно-практической задачей становится выяснение физической природы и механизмов формирования необходимых эксплуатационных свойств металлов неразъемных соединений и электродуговых покрытий, функционирующих в специфических условиях, таких как экстремально низкие или высокие температуры, абразивный износ, интенсивные механические нагрузки и другие. Эти свойства формируются с применением новейших сварочных материалов [18–20].

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Al-Co-Cr-Fe-Mn и Co-Cr-Fe-Mn-Ni, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ

Целью данной работы является определение физико-механических характеристик многокомпонентных покрытий, выполненных с использованием порошковой проволоки, а также уточнение их потенциального применения.

МЕТОДЫ

Изготовление заявленных составов порошковых электродных проволок осуществлялось на станке для изготовления порошковой электродной проволоки. Ширина присадочных проволок составляла четыре миллиметра. Для изготовления проволоки системы алюминий – кобальт – хром – железо – марганец использовалась оболочка из стали 08ПС. Для проволоки системы кобальт – хром – железо – марганец – никель оболочка из стали 12Х18Н9. Изготовление порошковых электродных проволок проводилось путем засыпания следующих легирующих компонентов: хромистого порошка с содержанием хрома не менее 98,5 %; металлического марганца с содержанием марганца не менее 99,7 %; алюминиевой крошки; кобальтового электролитического порошка с содержанием кобальта не менее 99 %; никелевого карбонильного порошка с содержанием никеля не менее 99,5 %. Компонентный состав используемых порошков брался в равных количествах. Наплавление изготовленных порошковых электродных проволок проводилось под высококремнистым марганцевым флюсом ОК FLUX 10.71 (ESAB). В качестве базового материала для проведения наплавления была использована сталь 9MnSi5.

Наплавление заявленных составов проволок осуществлялось с использованием ранее выбранного режима, I – 420А, U – 38В, V_{наплавки} – 15 см/мин.

Из поверхности наплавленных образцов методом электроэрозионной резки (станок ДК7732 М11) произведено изготовление серии образцов для испытания на растяжение, ударную вязкость, изучения микротвердости.

Распределение и усвоение химических элементов на поверхности исследуемого образца изучалось на оборудовании центра коллективного пользования «Материаловедение», АЭС способом (спектрометр ДФС -71) и РСФА (спектрометр XRF-1800).

ДюрOMETрический анализ изучаемых покрытий проводился на стационарном твердомере HVS-1000 согласно методике ГОСТ 9450-76, шаг измерения 2 миллиметра.

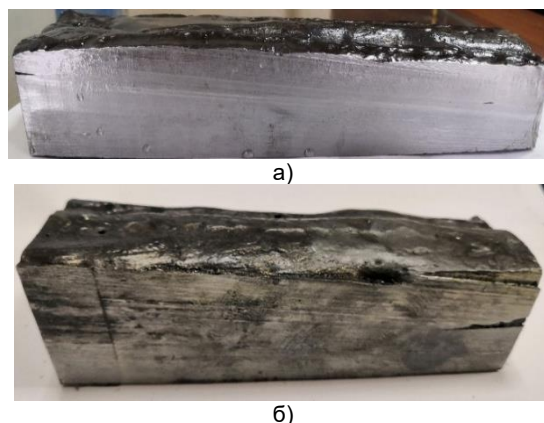
Определение механических характеристик материалов проводилось на испытательной машине Subramax PMBC-50 при следующих режимах испытаний: t – 23±1 °С, V_{нагружения} – 0,2 мм/мин.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для проведения исследования физико-механических свойств наплавленных покрытий методом автоматической дуговой наплавки под слоем флюса были изготовлены исследовательские образцы системы алюминий – кобальт – хром – железо – марганец и кобальт – хром – железо – марганец – никель (рис. 1).

Полученные результаты распределения и усвоения химических элементов (табл. 1) свидетельствуют о том, что наплавленные электродными проволоками образцы имеют порядка 60–70 %Fe и 30–40 % вводимых легирующих компонентов.

Результаты дюрOMETрических исследований (табл. 2) свидетельствуют о том, что микротвёрдость сплава системы алюминий – кобальт – хром – железо – марганец увеличена в 2 раза по сравнению с базовой сталью 9MnSi5, высокая твердость этого сплава тесно связана с получаемыми механическими свойствами, например, такими как износостойкость, что позволит использовать данный материал при изготовлении износостойких изделий. Результаты измерения микротвердости сплава системы кобальт – хром – железо – марганец – никель свидетельствуют о получении сплава с твердостью немного выше, чем у используемой подложки, при этом стоит отметить, что в наплавленном слое присутствует зоны с повышенной в два раза твердостью.



а – сплав системы алюминий – кобальт – хром – железо – марганец, б – сплав системы кобальт – хром – железо – марганец – никель

Рисунок 1 – Характерный вид наплавленных образцов

a – an alloy of the aluminum – cobalt – chromium – iron – manganese system, b – an alloy of the cobalt – chromium – iron – manganese – nickel system

Figure 1 – Characteristic view of the deposited samples

Полученные протоколы испытаний предела прочности, относительного удлинения, ударной вязкости с U-образным надрезом изучаемых образцов приведены в таблицах 3, 4. Поверхности изломов испытываемых образцов представлены на рисунках 2, 3. При изучении механических свойств определено, что излом образцов системы алюминий – кобальт – хром – железо – марганец – хрупкий. Излом образцов системы кобальт – хром – железо – марганец – никель, наоборот, – пластичный.

Таблица 1 – Протокол химического состава исследуемых наплавленных сплавов

Table 1 – Protocol of the chemical composition of the studied deposited alloys

Исследуемый сплав системы:	Масс. доля компонентов, %								
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Al	Co	S	P
Al-Co-Cr-Fe-Mn	0,16	2,32	6,47	6,25	0,09	3,27	5,48	0,007	0,013
Co-Cr-Fe-Mn-Ni	0,10	0,75	5,73	17,06	11,39	0,18	5,44	0,012	0,035

Таблица 2 – Результаты измерения микротвердости наплавленного слоя

Table 2 – Results of measuring the microhardness of the deposited layer

Исследуемый сплав системы:	Основной металл (подложка), HV	Среднее значение микротвердости, HV	Min значение, HV	Max значение, HV
Al-Co-Cr-Fe-Mn	120-140	289	282	360
Co-Cr-Fe-Mn-Ni	120-140	159	136	313

Таблица 3 – Результаты испытаний исследуемых образцов на растяжение

Table 3 – Results of tensile tests of the studied samples

Исследуемый сплав системы:	№ образца	Предел прочности, σ_b , Н/мм ²	Относительное удлинение, δ , %
Al-Co-Cr-Fe-Mn	1	136	2,8
	2	143	9,3
	3	140	19
Co-Cr-Fe-Mn-Ni	1	520	76
	2	580	94
	3	641	125

Исследование ударной вязкости КСВ (табл. 4) указывают на хрупкость полученного сплава системы алюминий – кобальт – хром – железо – марганец. Установлено, что полученные с поверхности наплавленного слоя образцы обладают увеличенной хрупкостью по сравнению с пробами, полученными с зоны сплавления. Результаты испытания образцов системы кобальт – хром – железо – марганец – никель – указывают на то, что данный сплав обладает достаточно высокими показателями ударной вязкости.

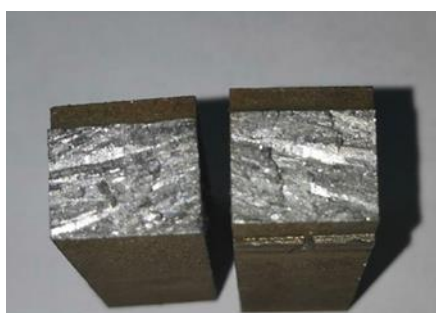


Рисунок 2 – Фото излома образца системы Al-Co-Cr-Fe-Mn после проведения испытания на ударную вязкость

Figure 2 – Photo of the fracture of the sample of the Al-Co-Cr-Fe-Mn system after the impact strength test

Таблица 4 – Ударная вязкость КСВ исследуемых образцов, Дж/см²

Table 4 – Impact strength КСВ of the studied samples, J/cm²

Исследуемый сплав системы:	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
Al-Co-Cr-Fe-Mn	7,85	8,46	66,54
Co-Cr-Fe-Mn-Ni	189,4	157,5	165,7

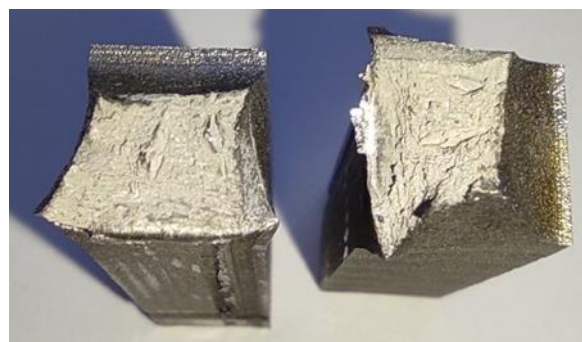


Рисунок 3 – Фото излома образца системы Co-Cr-Fe-Mn-Ni после проведения испытания на ударную вязкость

Figure 3 – Photo of the fracture of the system sample Co-Cr-Fe-Mn-Ni after the impact strength test

ВЫВОДЫ

Результаты лабораторных исследований свидетельствуют о том, что сплав системы алюминий – кобальт – хром – железо – марганец, полученный в ходе исследования, демонстрирует улучшенные дюрометрические характеристики по сравнению с базовой сталью. Однако высокая твердость этого сплава тесно связана с его хрупкостью, что подтверждается итогами механических испытаний. Эти результаты актуальны не только для рассматриваемого сплава, но и для других сплавов и покрытий, применяемых в производстве и ремонте изделий, отличающихся повышенной износостойкостью, таких как крановые колеса, ролики подающих механизмов, валы и оси.

Сплав системы кобальт – хром – железо – марганец – никель демонстрирует по сравнению со сплавом системы алюминий – кобальт – хром – железо – марганец более низкую микротвердость и, следовательно, более высокую пластичность физических и механических свойств. Это позволяет сделать вывод о перспективах его применения в производстве компонентов криогенного и ёмкостного оборудования, трубопроводных систем и изделий с повышенной химической стойкостью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. V. Burlaka, E. Lavrova. Improving energy characteristics of the welding power sources for TIG-AC welding // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 5, No. 5–101. P. 38–43. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.180925.
2. Z. Lei, X. Cui, G. Jin [et al.]. Analysis of welding solidification crack in narrow gap laser welding of high-strength steel // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2022. Vol. 119, No. 7–8. P. 4177–4190. DOI: 10.1007/s00170-022-08659-6.
3. Z. Mikno, M. Stepień. Analysis of welding conditions at synchronous operation of resistance welding machines // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2024. Vol. 133, No. 3–4. P. 1915–1927. DOI: 10.1007/s00170-024-13682-w.
4. A. Lopata, I. Smirnov, M. Holovashchuk, V. Lopata. Investigation of the properties of coatings obtained by electric arc spraying // Problems of Tribology. 2023. Vol. 28, No. 1/107. P. 73–80. DOI: 10.31891/2079-1372-2023-107-1-73-80.
5. A.B. Shynarbek. Investigation of the process of electric arc metalization of coatings from steel 30KhGSA // Eurasian Physical Technical Journal. 2023. Vol. 20, No. 4 (46). P. 67–73. DOI: 10.31489/2023no4/67-73.
6. Н.Ф. Дмитриченко, А.А. Тамаргазин, Е.П. Пуга-

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Al-Co-Cr-Fe-Mn и Co-Cr-Fe-Mn-Ni, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ

чевская. Исследование свойств поверхностей, восстановленных электродуговыми покрытиями // Science Rise. 2016. Т. 12, № 2(29). С. 19–23. DOI: 10.15587/2313-8416.2016.85845.

7. Ф.И. Пантелеенко, М.А. Белоцерковский, М.Н. Карпец, А.В. Сосновский. Сравнительный анализ физико-механических свойств покрытий, нанесенных способами электродуговой и гиперзвуковой металлизации // Механика машин, механизмов и материалов. 2019. № 4(49). С. 48–54.

8. А.К. Кычкин, Г.Г. Винокуров, Н.Ф. Стручков. Исследование покрытий из порошковых проволок, модифицированных комплексным концентратом Томторского редкоземельного месторождения Республики Саха (Якутия) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20, № 6(86). С. 86–91.

9. В.А. Багров. Совершенствование сплавов системы Cr-Mn-Mo-Ti на основе железа // Машинобудовання: Збірник наукових праць. 2015. № 16. С. 94–99.

10. И.В. Осетковский, Н.А. Козырев, А.И. Гусев [и др.]. Свойства металла, наплавленного порошковыми проволоками систем Fe-C-Si-Mn-Ni-Mo-W-V и Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V // Вестник горнометаллургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. 2017. № 38. С. 155–162.

11. S.F. Tseng, T.Y. Hung, C.M. Chang. Mechanical and microstructural properties of additively manufactured Ti-6Al-4 V stents with CO₂ laser postannealing treatment // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2022. Vol. 119, No. 9–10. P. 6571–6581. DOI: 10.1007/s00170-021-08381-9.

12. Г.М. Григоренко, В.Н. Коржик, Л.И. Адеева [и др.]. Особенности металлургических процессов при плазменно-дуговом напылении покрытий, полученных из порошковой проволоки со стальной оболочкой и наполнителями В4С и В4С+ZrO₂ // Вестник Приазовского государственного технического университета. Серия : Технические науки. 2016. № 32. С. 125–137.

13. S. Peleshenko, V. Korzhyk, O. Voitenko [et al.]. Analysis of the current state of additive welding technologies for manufacturing volume metallic products (review) // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 3, No. 1(87). P. 42–52. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.99666.

14. Е.В. Полевой, Н.А. Козырев, А.Р. Михно [и др.]. Анализ параметров микроструктуры наплавленного слоя порошковой проволокой системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-MoV // Металловедение и термическая обработка металлов. 2022. № 12(810). С. 15–18. DOI: 10.30906/mitom.2022.12.15-18.

15. N.A. Kozyrev, A.R. Mikhno, A.A. Usoltsev [et al.]. The Possibility of Using Silicomanganese Slag and Ladle Electric Steelmaking Slag in Manufacture of Welding Fluxes // Steel in Translation. 2021. Vol. 51, No. 10. P. 683–687. DOI: 10.3103/S0967091221100065.

16. С.В. Райков, В.Е. Громов, Р.Е. Крюков, А.С. Князев. Износостойкие наплавки: свойства, структура и фазовый состав. Новокузнецк : Полиграфист, 2024. 179 с. ISBN 978-5-91797-333-3.

17. С.В. Михайлицин, М.А. Шекшеев, С.И. Платов [и др.]. Исследование вязкости жидких сварочных шлаков

и расплавов электродных покрытий // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2018. Т. 61, № 4. С. 280–287. DOI: 10.17073/0368-0797-2018-4-280-287.

18. V. Korzhyk, O. Burlachenko, D. Strohonov [et al.]. Effect of the technological parameters of plasma-arc spraying of flux-cored wire on the structure and properties of intermetallide coatings based on Fe₃Al // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2023. Vol. 1, No. 12 (121). P. 6–15. DOI: 10.15587/1729-4061.2023.274062.

19. G. Langelandsvik, M. Eriksson, O.M. Akselsen, H.J. Roven. Wire arc additive manufacturing of AA5183 with TiC nanoparticles // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2021. DOI: 10.1007/s00170-021-08287-6.

20. D. Begmatov, U. Khaydarov, Sh. Saidkhodjaeva, F. Odilov. Improving the technology of welding chromium–nickel steels // Theoretical & Applied Science. 2021. No. 8(100). P. 282–290. DOI: 10.15863/TAS.2021.08.100.51.

Информация об авторах

Р. Е. Крюков – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры механики и машиностроения Сибирского государственного индустриального университета.

А. Р. Михно – директор НПЦ «Сварочные процессы и технологии» Сибирского государственного индустриального университета.

И. А. Панченко – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник управления научных исследований Сибирского государственного индустриального университета.

С. В. Коновалов – доктор технических наук, профессор, проректор по научной и инновационной деятельности Сибирского государственного индустриального университета

С. С. Перов – лаборант управления научных исследований Сибирского государственного индустриального университета.

Information about the authors

R.E. Kryukov - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Mechanics and Mechanical Engineering of the Siberian State Industrial University.

A.R. Mikhno - post-graduate student, director of SPC “Welding processes and technologies” of the Siberian State Industrial University.

I.A. Panchenko - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher of the Scientific Research Department of the Siberian State Industrial University.

S.V. Konovalov - Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for Scientific and Innovation Activities of the Siberian State Industrial University.

S.S. Perov - Laboratory assistant at the Scientific Research Department of the Siberian State Industrial University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 18 декабря 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 18 Dec 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.



Научная статья

2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов (технические науки)

2.6.17 – Материаловедение (технические науки)

УДК 67.014/017

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.026

EDN: WJUHQX

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МНОГОЦИКЛОВОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛА СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Расул Ахмадович Мамадалиев

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия
mamadalievra@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0813-0961>

Аннотация. Целью данной работы является исследование влияния факторов при сварке, выполняемой последовательно несколькими электродами разных марок, на химический состав наплавленного металла. Исследование проводили на высоколегированной стали аустенитного класса марки 12X18H10T. В программе Ansys проведены теоретические расчёты тепловой мощности и температурных полей, а также замер температуры по местам наплавки и зоны термического влияния. На этапах наложения последующих слоёв температура корневого слоя не превышала 727–773 °С. В работе сканирующим электронным микроскопом JEOL JSM-6510A с аналитическим блоком исследованы химический состав и структура наплавленного металла послойно: количество хрома в среднем 18 %, никеля 9 %. Методом позлементного картирования выявлена химическая неоднородность в околошовной зоне размером 0,1 мм. На диаграмме Шеффлера выявлена аустенитно-ферритная структура наплавленного металла. Точки соотношения на диаграмме находятся в одном уровне аустенитно ферритной фазы, не превышающей 6 % в первом слое наплавленного металла и 9 % в последующих. Однако при определении процентного содержания ферритной фазы в образцах с применением ферритометра содержание ферритной фазы составляет от 0,43 до 3,5 % последовательно наложению слоёв. Испытания на стойкость к межкристаллитной коррозии проводились по методу «АМУ» в кипящем водном растворе сернокислой меди ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) и серной кислоты (H_2SO_4) в присутствии металлической меди (стружка). Полученные результаты подтвердили устойчивость к межкристаллитной коррозии. Предложено продолжить оценку циклического температурного воздействия при последовательном наложении шва разными по химическому составу электродного металла.

Ключевые слова: 12X18H10T, ЦЛ-1, ЦТ-15, ОЗЛ-8, диаграмма Шеффлера, Cr, Nb, Ti, Cr_{экв}, Ni_{экв}.

Для цитирования: Мамадалиев Р. А. Оценка влияния многоциклового температурного воздействия на химические свойства металла сварного соединения // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 154–158. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.026. EDN: <https://elibrary.ru/WJUHQX>.

Original article

ASSESSMENT OF EFFECT OF MULTI-CYCLE TEMPERATURE EXPOSURE ON CHEMICAL PROPERTIES OF METAL WELDED JOINT

Rasul A. Mamadaliev

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia
mamadalievra@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0813-0961>

Abstract. The purpose of this work is to study the influence of welding factors performed sequentially by several electrodes of different grades on the chemical composition of the deposited metal. The study was carried out on high-alloy austenitic grade steel 12X18H10T. In the Ansys program, theoretical calculations of thermal power and temperature fields were carried out, as well as temperature measurements at the surfacing sites and the zone of thermal influence. At the stages of applying subsequent layers, the temperature of the root layer did not exceed 727–773 °C. Using a JEOL JSM-6510A scanning electron microscope with an analytical unit, the chemical composition and structure of the deposited metal were studied in layers: the amount of chromium averaged 18%, nickel 9%. The chemical heterogeneity in a 0.1 mm circumflex zone was revealed by the method of element-by-element mapping. The austenitic-ferritic structure of the deposited metal is revealed in the Scheffler diagram. The ratio points in the diagram are at the same level of the austenitic ferritic phase, which does not exceed 6% in the first layer of the deposited metal and 9% in the subsequent ones. However, when determining the percentage of the ferrite phase in samples using a ferritometer, the content of the ferrite phase ranges from 0.43 to 3.5% after layering. Tests for resistance to intercrystalline corrosion were carried out using the "AMU" method in a boiling aqueous solution of copper sulfate ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) and sulfuric acid (H_2SO_4) in the presence of metallic copper (chips). The obtained results confirmed the resistance to intercrystalline corrosion. It is proposed to continue the assessment of cyclic temperature effects during sequential suturing of electrode metals with different chemical compositions.

Keywords: 12X18H10T, CL-1, CT-15, OZL-8, Scheffler diagram, Cr, Nb, Ti, Cr_{eq}, Ni_{eq}.

© Мамадалиев Р. А., 2025

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МНОГОЦИКЛОВОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛА СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

For citation: Mamadaliev, R.A. (2025). Assessment of effect of multi-cycle temperature exposure on chemical properties of metal welded joint. Polzunovskiy vestnik, (3), 154-158. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.026. EDN: <https://elibrary.ru/WJUHQX>.

ВВЕДЕНИЕ

Стали аустенитного класса 10-й группы кислотостойкой марки типа 18–10 (хромоникелевые стали) применяются для изготовления, хранения и передачи сред в пищевой промышленности, тяжёлом машиностроении, изделиях медицинского назначения и т.д. Одной из основных особенностей этих сталей является устойчивость к коррозии, определяемая наличием в стали хрома [1, 2].

Принимая во внимание, что при сборке конструкций из аустенитной стали основным критерием является контроль температуры зоны термического влияния и наплавляемого металла, металл шва может стать хрупким по причине частого воздействия температуры на наплавленный металл при наложении последующих слоев. Однако перекристаллизация в твёрдом состоянии влияет на размеры зерна и формирует мелкозернистую структуру [3]. Результат неправильного подбора температурного режима может приводить к возникновению критических дефектов визуального характера, например, «горячих трещин», проявляющих себя во время остывания металла, или появлением со временем «холодных трещин» уже на остывшем соединении. Коррозия, как один из факторов разрушения, может проявиться в любое время в зависимости от условий эксплуатации и работы конструкции под воздействием температуры и внутренних напряжений в металле. Особо опасной и непредсказуемой является межкристаллитная коррозия [4, 5, 6]. Химический состав и влияние на свойства наплавленного металла всегда были актуальными по причине совершенствования оборудования и нового подхода к поставленным задачам. Также исследование авторов приходят к одному мнению, что химический состав наплавленного металла напрямую зависит от температуры наплавляемого металла [7, 8, 9, 10].

Целью данной работы является исследование влияния факторов при сварке, выполняемой последовательно несколькими электродами разных марок, на химический состав наплавленного металла.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- рассчитать температуру при цикловом воздействии на каждый слой наплавленного металла;
- провести анализ химического состава полученного соединения;
- определить структуру наплавленного металла по диаграмме Шеффлера;
- провести испытание на МКК полученных образцов.

МЕТОДЫ

Исследование проводили на высоколегированной стали аустенитного класса марки 12Х18Н10Т. Для соединения образцов использовали три типа электрода с основным покрытием. Химический состав стали образцов и наплавленного металла от производителя, содержание ферритной фазы стали и наплавленного металла, расчёт степени аустенитности представлены в таблице 1.

Эффективную тепловую мощность источника нагрева определяли по параметрам дуги: [11, 12, 13, 14]

$$Q_3 = \eta UI, \quad (1)$$

где Q_3 – эффективная тепловая мощность дуги, Вт;

η – эффективный КПД сварочной дуги (для ручной дуговой $\eta = 0,7$);

U – напряжение дуги, В;

I – сварочный ток, А.

На основе полученных результатов по тепловой мощности проводили расчёт температурных полей в программе Ansys. Моделирование соединения проводилось по слоям. Шаг одного сегмента приравнивается к 2,3 секундам и характеризуется образованием металла соединения и мгновенным вводом тепловой мощности Q . Модель собрана сегментами из корневого (Q_k), заполняющего (Q_3) и облицовочного (Q_o) швов.

Схема подготовки образцов для исследования и зоны проведения анализа приведены на рисунке 1.

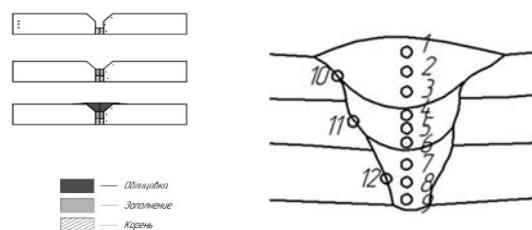


Рисунок 1 – Схема вырезки образцов, наложения шва, а также зоны проведения анализа

Figure 1 – Schematic of sample cutout, seam overlap, and analysis area

Для подтверждения полученных результатов проводили металлографический анализ микроструктуры сканирующим электронным микроскопом JEOL JSM-6510A, оснащённым рентгеновским энергодисперсионным спектрометром (EDS).

Испытание на стойкость к межкристаллитной коррозии проводилось по ГОСТ 6032-2017 по методу «АМУ». Сущность метода заключается в выдержке образцов в кипящем водном растворе сернокислой меди ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) и серной кислоты (H_2SO_4) в присутствии металлической меди (стружка). В качестве стружки был использован медный провод типа ПЭЛ диаметром 0,7 мм с предварительно смытым лаком. Отрезки медного провода до испытаний были освещены в 20 % водном растворе HNO_3 .

РЕЗУЛЬТАТЫ

На рисунке 2 представлены результаты расчёта тепловой мощности при наложении слоёв: вертикальная шкала – температура в металле шва и зоне термического влияния (ЗТВ); горизонтальная шкала – время сварки всей пластины. Имитация остывания на графике учитывает время на смену электрода и зачистку от шлака наплавленного металла.

Точки для замера расчётной температуры расположены на модели по слоям наложения металла и параллельно в ЗТВ. K – первый слой, K_3 – в ЗТВ первого слоя, 3 – второй слой, 3_3 – в ЗТВ второго слоя, O – третий слой, O_3 – в ЗТВ третьего слоя. Расчётная тепловая мощность была распределена по слоям Q_o – облицовочный шов 1627 Вт, Q_3 – заполняющий шов 1627, Q_k – корневой шов 1233 Вт.

Первый слой является корневым швом – темпе-

ратура ЗТВ при наплавки не превышала 1100 °С. При этом температура во время наплавки второго слоя находилась в интервале 744–773 °С. Температура точки в ЗТВ корня шва 676–702 °С. При сварке облицовочного шва температура первого слоя и ЗТВ не превышала 727 °С. Во время остывания металл достигал расчётной температуры 210 °С на слоях и 162 °С – в ЗТВ.

Заполнение шва вторым слоем начиналось при температуре 200 °С в точке З₃ и резко повышалось до 1265 °С. Параллельно в точке О₃ температура возрастала до 982 °С, и по мере приближения источника тепла увеличивалась до 1379 °С.

Облицовочный шов заполнялся третьим слоем, и температура ЗТВ и наплавленных ниже слоёв находилась в области 800 °С. Прилегающая точка замера в ЗТВ облицовочного шва не превысила 1500 °С.

Облицовочный шов примечателен тем, что влияет на окончательное формирование структуры металла и по мере его остывания формируются связи, составляющие основу металла и в ЗТВ. Особенно это

заметно при соединении высоколегированных сталей, так как химический состав при остывании может повлиять на структуру, механические характеристики и его устойчивость к межкристаллитной коррозии.

По диаграмме Шеффлера можно приближённо определить структуру наплавленного металла по эквивалентам хрома и никеля. Для качественной оценки влияния легирующих элементов определяли степень аустенитности: отношение эквивалентов Cr и Ni не должно быть меньше 1.5, так как может приводить к образованию кристаллизационных трещин. Данное условие позволяет получить сведения о количественном составе фаз в литых коррозионноустойчивых сталях при комнатной температуре [15, 16]. Как показано в таблице 1, отношение при расчёте по химическому составу, представленному производителем, $Cr_{экв} / Ni_{экв}$ не ниже 1.5, что свидетельствует об отсутствии склонности наплавленного материала к горячим трещинам. Для электрода ЦЛ-11 при соотношении эквивалентов 2.3 может происходить затвердевание в виде однофазного феррита.

Таблица 1 – Процентное содержание элементов и ферритной фазы в электродах и основном металле
Table 1 – Percentage content of elements and ferrite phase in electrodes and base metal

Содержание элементов, %									% СФФ	Cr _{ЭКВ} / Ni _{ЭКВ}
C	Si	Mn	Cr	Ni	Nb	Ti	P	S		
Э08Х20Н9Г2Б (ЦЛ-11)										
0,07	0,8	1,16	20,37	8,5	1,28	–	0,019	0,0082	2-10	2,3
Э08Х19Н10Г2Б (ЦТ-15)										
0,11	0,92	1,74	19,6	9,38	1,25	–	0,017	0,015	2-5,5	1,9
Э07Х20Н9 (ОЗЛ-8)										
0,082	0,44	1,66	20,4	8,48	–	–	0,018	0,010	2-8	2
Сталь 12Х18Н10Т										
0,05	0,4	1,13	17,1	9,3	–	0,4	0,005	0,007	0,13	1,8

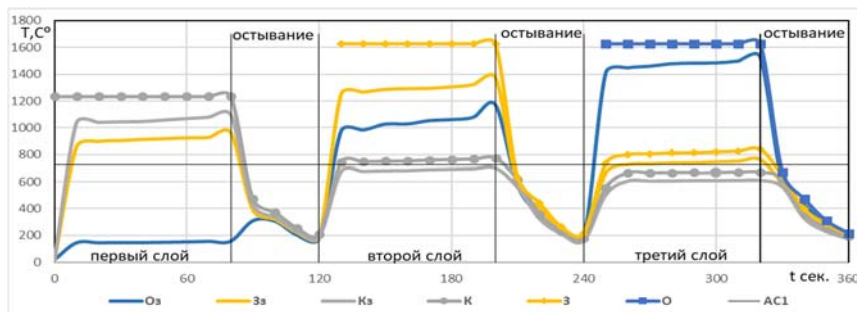


Рисунок 2 – Послойная расчётная температура в металле шва при сварке
Figure 2 – Layer-by-layer calculated temperature in the weld metal during welding

ОБСУЖДЕНИЕ

Подобранный материал соответствует по требованиям к содержанию ферритной фазы в сплаве (табл. 1), что не скажешь про наплавленный материал из электрода ОЗЛ-8 с вероятностью получения 8 % феррита. В изделиях, работающих при температурах до 400 °С, допускается содержание феррита до 20–25 %. Но при высоких температурах феррит не должен превышать 5 % [17].

Согласно руководящему документу [18], пункт 8.3, процент содержания ферритной фазы менее 2 % в сварных швах и антикоррозионной наплавке оборудования и трубопроводов не является браковочным признаком при отсутствии дефектов сварочного происхождения.

Химический состав комбинации наплавленного металла представлен в таблице 2. Степень аустенитности составляет $Cr_{экв} / Ni_{экв}$ от 1,5 до 1,8. Можно заметить отсутствие Nb в наплавленном металле в корневом слое. Несмотря на это, полученное сварное соединение имеет равный химический состав.

На рисунке 3 приведена структурная диаграмма Шеффлера и расчётные области структур основного и наплавленного металлов по слоям. Определена область нахождения точек в аустенитно-ферритной структуре.

Так как ниобий является элементом, отличающим наплавляемый материал по химическому составу, был дополнительно проведен расчёт эквивалентов с учётом образования карбида ниобия. Значение Q_0 – результат расчёта без учёта карбидов Nb, $*Q_0$ – результат расчёта с учётом карбида Nb.

Расположение характеристических точек облицовочного и заполняющего слоёв приходится на один уровень ферритной структуры, и только одна точка имеет расхождение с точкой, рассчитанной с учётом карбида Nb. Расчётные точки корня металла шва приближены к основному металлу, что может говорить о структуре, близкой к основному металлу, что, в свою очередь, можно объяснить преобладанием доли основного металла над наплавленным.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МНОГОЦИКЛОВОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛА СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Таблица 2 – Химический состав наплавленного металла по слоям

Table 2 – Chemical composition of the weld metal by layers

	Содержание элементов, %					
	Si	Mn	Cr	Ni	Nb	Ti
Э08Х20Н9Г2Б (ЦЛ-11)						
Q ₀	0,7	1,2	18,1	9,3	0,9	0,18
Q ₃	0,6	1,3	17,9	9	0,9	0,14
Э08Х19Н10Г2Б (ЦТ-15)						
Q ₀	0,7	1,2	18,5	9,1	0,9	0,19
Q ₃	0,7	1,3	18,4	9,0	0,8	0,19
Э07Х20Н9 (ОЗЛ-8)						
Q _К	0,5	1,3	18,1	9	—	0,07
Q _К	0,5	1,1	18	8,8	—	0,21

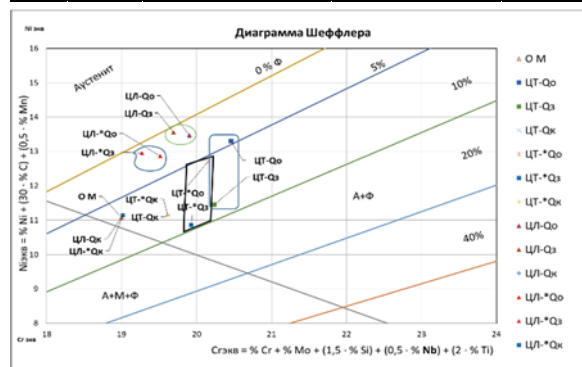


Рисунок 3 – Структурная диаграмма Шеффлера и расчётные области структур металла и наплавленного электрода по слоям
Figure 3 – Schaeffler structure diagram and calculated areas of metal and clad electrode structures by layers

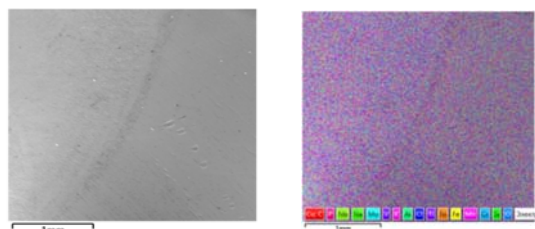


Рисунок 4 – Электронно-микроскопическая структура сплава, полученная методом поэлементного картирования

Figure 4 – Electron-microscopic structure of the alloy obtained by elemental mapping method

Учитывая применение разных по составу материалов электродов, химическая неоднородность имеет место быть. Таким образом, при рассмотрении карт распределения химических элементов (рис. 4) можно говорить о неоднородности в зоне сплавления и околошовной зоне (ОШС).

Ширина неоднородной зоны 0,1 мм. Её образование происходит при кристаллизации и охлаждении и сопровождается проявлением первичных границ. При дальнейших циклах нагрева и охлаждения могут формироваться вторичные границы. Ограничением величины зоны является наличие и растворимость элементов.

На рисунке 5 приведена карта распределения элементов области сплавления металла шва и основного. Темная линия на карте с элементом Cr является сегрегационным скоплением примесей, зависящим от температуры нагрева. Время нахождения данной области при высоких температурах ограничено скоростью движения и положением источника тепла, что приводит к перекристаллизации и проявлению мелкозернистой структуры.

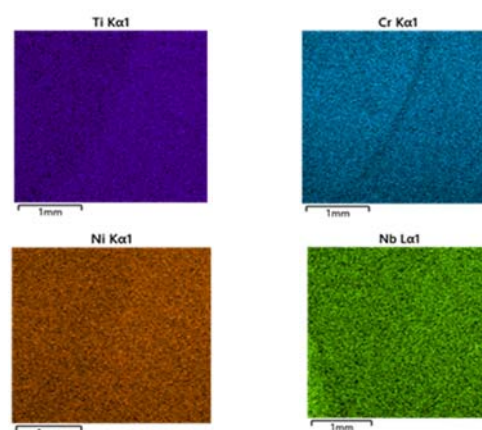


Рисунок 5 – Карты поэлементного распределения исследуемой области

Figure 5 – Elemental distribution maps of the study area

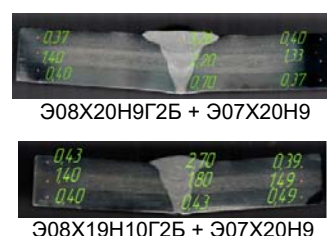


Рисунок 6 – Результаты определения процентного содержания ферритной фазы в образцах

Figure 6 – Results of determination of pro-percentage content of ferritic phase in samples

Однако, учитывая высокую скорость нагрева и охлаждения, можно предположить гомогенизацию по углероду, а также обогащению границ зерна элементами: серой, фосфором, хромом, молибденом, марганцем, никелем и вольфрамом, что может приводить к межкристаллитному разрушению в зоне сплавления. В работах авторов более подробно рассмотрено проявление карбидов [19, 20, 21, 22].

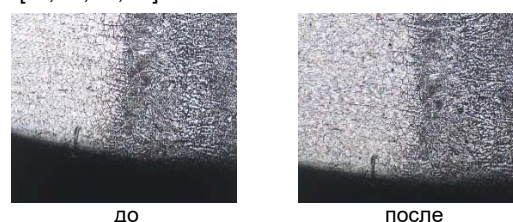


Рисунок 7 – Микроструктура испытания на МКК по методу АМУ, продолжительность кипячения – 8 часов

Figure 7 – Microstructure of IC test by the AMU method, boiling duration – 8 hours

На рисунке 6 приведены результаты определения процентного содержания ферритной фазы, которое осуществлялось с применением ферритометра МФ-51НЦ [23]. Ферритные волокна в виде вытянутых линий являются результатом проката. В процессе термомеханической обработки при кристаллизации образуется 2–3 % феррита, что не превышает 5 %. Однако в местах нахождения волокон феррита увеличивается выделение карбида хрома и сигма фазы, из которых последняя охрупчивает места нагрева.

На рисунке 7 приведены результаты испытания образцов на межкристаллитную коррозию по методу АМУ.

На поверхностях образцов, в зонах термического влияния (ЗТВ) и по линиям сплавления с двух сторон сварного соединения межзёренного растрескивания не выявлено, что является признаком стойкости против МКК [24].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. По результатам проделанной работы проанализирован химический состав и его структура после циклового воздействия температуры на наплавленный металл, полученный последовательно несколькими электродами разных марок.

2. По результатам замера химического состава наплавленного металла выявили соотношение точек на диаграмме Шеффлера. Точки находятся в одном уровне аустенитно-ферритной фазы, не превышающей 6 % в первом слое наплавленного металла и 9 % в последующих. Однако при определении процентного содержания ферритной фазы в образцах с применением ферритометра содержание ферритной фазы от 0,43 до 3,5 % последовательно наложению слоев.

3. Наплавленный металл после воздействия на шов и ЗТВ температуры прошёл испытание на МКК по методу АМУ в течение восьми часов кипения.

4. Рекомендуется продолжить исследование влияния многоциклового температурного воздействия на применение комбинации разных по химическому составу электродов в условиях взаимозаменяемости элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Медовар Б.И. Сварка жаропрочных аустенитных сталей и сплавов. М. : Машиностроение, 1966. 430 с.
2. Пояркова Е.В. Влияние высокотемпературного нагрева на структуру поверхностных окислов нержавеющей стали / А.В. Яхин // Вестник Тамбовского университета. Серия : Естественные и технические науки. 2016. Т. 21, № 3. С. 1267–1270. DOI: 10.20310/1810-0198-2016-21-3-1267-1270.
3. Мусин Р.А. Металловедение сварки / Р.А. Мусин, Г.А. Береснев. Пермь : Пермский гос. техн. ун-т, 2000. 108 с.
4. Рыкалин Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. М. : Машгиз, 1951 296 с.
5. Трякина Н.Ю., Пояркова Е.В., Грызунов В.И. Анализ деградации структуры и механических свойств хромоникелевой стали 12Х18Н10Т при длительной эксплуатации. Met Sci Heat Treat 51, 419–422 (2009). <https://doi.org/10.1007/s11041-010-9184-y>.
6. Malhotra D., Shahi A.S. Weld metal composition and aging influence on metallurgical, corrosion and fatigue crack growth behavior of austenitic stainless steel welds // Materials Research Express. 2019. Т. 6. № 10. С. 106555.
7. Петров В.П. Свариваемость сталей. Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2000. 66 с.
8. Кривоносова Е.А. К проблеме коррозионного разрушения сварных швов / Е.А. Кривоносова, С.Н. Акулова, А.В. Мышкина // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. 2017. Т. 19, № 3. С. 114–138. DOI: 10.15593/2223-9877/2017.3.07.
9. Липпольд Д. Металлургия сварки и свариваемость нержавеющей стали: [пер. с англ.] / под. ред. Н.А. Соснина, А.М. Левченко. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2011. 467 с.
10. Паршуков Л.И. Исследование сварного шва из стали Х18Н10Т / Л.И. Паршуков // Современные технологии: тенденции и перспективы развития : сборник статей II Международной научно-практической конференции, Петрозаводск, 18 ноября 2021 г. Петрозаводск : Международный центр научного партнерства «Новая Наук», 2021. С. 125–128. EDN XCYZSE.
11. Кривоносова Е.А. Влияние типа покрытия электрода

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

Статья поступила в редакцию 18 декабря 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 18 Dec 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.

на коррозионную стойкость металла шва стали 08Х18Н10Т / Е.А. Кривоносова, Е.А. Синкина, А.И. Горчаков // Сварочное производство. 2012. № 4. С. 38–41. EDN OWRJEN.

12. Влияние режимов сварки на структуру и свойства металла шва стали 12Х18Н10Т в различных пространственных положениях / Р.А. Мамадалиев, П.В. Бахматов, Н.В. Мартюшев [и др.] // Металлург. 2021. № 11. С. 43–50.

13. Мамадалиев Р.А. Влияние режимов сварки и различных источников тока на формирование сварного шва стали 12Х18Н10Т / Мамадалиев Р.А., Кусков В.Н., Бахматов П.В., Ильященко Д.П. // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2018. Т. 20. № 4. С. 35–45.

14. Мамадалиев Р.А. Распределение легирующих элементов в многопроходных сварных швах хромоникелевой стали / Р.А. Мамадалиев, П.В. Бахматов // Металловедение и термическая обработка металлов. 2023. № 5(815). С. 55–60.

15. Федосеева Е.М., Ольшанская Т.В., Душина А.Ю. Закономерности формирования структуры в механизмах кристаллизации аустенитных сталей (обзор) // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. 2023. Т. 25. № 1. С. 83–97. DOI: 10.15593/2224-9877/2023.1.09.

16. Зинченко С.А. Температура начала интенсивного роста объемной доли δ-феррита при отжиге аустенитной коррозионностойкой стали Св-07Х25Н13 / С.А. Зинченко, А.У. Ибрагимов // Современные материалы, техника и технологии. 2017. № 1(9). С. 100–107. EDN XXYTPF.

17. Акулов А.И., Алехин В.П., Ермаков С.И. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки. М. : Машиностроение, 2003. 560 с.

18. РД ЭО 1.1.2.19.0199-2010 РД ЭО 1.1.2.19.0199-2010 Определение содержания ферритной фазы в наплавленном металле сварочных и наплавочных материалов, основном металле, сварных швах аустенитных нержавеющей сталей и антикоррозионной наплавке оборудования и трубопроводов АС.

19. Кривоносова Екатерина Александровна Моделирование кинетики образования модифицирующих фаз при сварке и обработке высококонцентрированными источниками энергии // Известия ТулГУ. Технические науки. 2015. № 6–2.

20. Трякина Н.Ю., Пояркова Е.В., Грызунов В.И. Анализ деградации структуры и механических свойств хромоникелевой стали 12Х18Н10Т при длительной эксплуатации. Met Sci Heat Treat 51, 419–422 (2009). <https://doi.org/10.1007/s11041-010-9184-y>.

21. Кривоносова Е.А. К проблеме коррозионного разрушения сварных швов / Е.А. Кривоносова, С.Н. Акулова, А.В. Мышкина // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. 2017. Т. 19, № 3. С. 114–138. DOI: 10.15593/2223-9877/2017.3.07.

22. Рябошук С.В., Ковалев П.В. Анализ причин образования дефектов заготовок из стали 12Х18Н10Т и разработка и рекомендаций по их устранению // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2023. Т. 25, № 1. С. 6–15. DOI: 10.17212/1994-6309-2023-25.1.6-15.

23. ГОСТ Р. 53686–2009. Сварка. Определение содержания ферритной фазы в металле сварного шва аустенитных и двухфазных ферритоаустенитных хромоникелевых коррозионностойких сталей. М. : Стандартинформ. 2011. Т. 25.

24. ГОСТ 6032-2017. Стали и сплавы коррозионностойкие. Методы испытаний на стойкость против межкристаллитной коррозии. М. : Стандартинформ, 2017. 36 с.

Информация об авторах

Р. А. Мамадалиев – старший преподаватель ТИУ.

Information about the authors

R.A. Mamadaliev - Senior Lecture of TIU.



Научная статья

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

УДК 547.979.7

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.027



ВЛИЯНИЕ ФТАЛОЦИАНОВЫХ ПИГМЕНТОВ НА СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА, ПОЛУЧЕННЫМ КОМПРЕССИОННЫМ ДВУХСТАДИЙНЫМ ХИМИЧЕСКИМ ВСПЕНИВАНИЕМ

Ирина Павловна Худякова¹, Алина Александровна Пономарева²,
Елена Геннадьевна Поповских³

^{1,2} Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО», Санкт-Петербург, Россия

^{1,3} Международный промышленный технологический холдинг «Gavary Group», г. Москва, Россия

² Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В данной статье представлены результаты исследования влияния фталоциановых пигментов на свойства композиционного материала, основанного на полиэтилене высокого давления (ПЭВД), полученного методом двухстадийного химического вспенивания. Основное внимание уделено анализу структурных изменений вспененного материала. Проведенные эксперименты демонстрируют, что введение фталоциановых пигментов способствует изменению физико-механических характеристик (прочность и удлинение при разрыве), водопоглощения и структурных параметров полученных материалов (размер пористой ячейки). Полученные результаты открывают новые возможности для формирования ПЭВД материалов методом двухстадийного химического вспенивания с прогнозируемыми характеристиками.

Ключевые слова: фталоциановые пигменты, структурные параметры, водопоглощение, прочность и удлинение при разрыве, вспенивание ПЭВД.

Благодарности: Автор выражает благодарность своим коллегам и руководителям международного технологического холдинга «Gavary Group» за техническую поддержку в написании статьи.

Для цитирования: Худякова И. П., Пономарева А. А., Поповских Е. Г. Влияние фталоциановых пигментов на свойства композиционного материала на основе полиэтилена высокого давления, полученным компрессионным двухстадийным химическим вспениванием // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 159–162. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.027. EDN: <https://elibrary.ru/WLLIBS>.

Original article

INFLUENCE OF PHTHALOCYANINE PIGMENTS ON PROPERTIES OF A COMPOSITE MATERIAL OBTAINED BY TWO-STAGE CHEMICAL COMPRESSION FOAMING

Irina P. Khudiakova¹, Alina A. Ponomareva², Elena G. Popovskikh³

^{1,2} Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “National Research University ITMO”, Saint Petersburg, Russia

^{1,3} International Industrial Technology Holding “Gavary Group”, Moscow, Russia

² Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University”, Saint Petersburg, Russia

Abstract. This article presents the results of a study of the effect of phthalocyanine pigments on the properties of a composite material based on low-density polyethylene (LDPE) obtained by two-stage chemical foaming. The main attention is paid to the analysis of structural changes in the foamed material. The experiments demonstrate that the introduction of phthalocyanine pigments contributes to a change in the physical and mechanical characteristics (strength and elongation at break), water absorption and structural parameters of the obtained materials (pore cell size). The results obtained open up new possibilities for the formation of LDPE materials by two-stage chemical foaming with predictable characteristics.

Keywords: Phthalocyanine pigments, structural parameters, water absorption, strength and elongation at break, foaming of LDPE.

Acknowledgements: the author expresses gratitude to his colleagues and the heads of the international technology holding “Gavary Group” for technical support in writing the article.

© Худякова И. П., Пономарева А. А., Поповских Е. Г., 2025

For citation: Khudiakova, I.P., Ponomareva, A.A. & Popovskikh, E.G. (2025). Influence of phthalocyanine pigments on properties of a composite material obtained by two-stage chemical compression foaming. Polzunovskiy vestnik, (3), 159-162. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.027. EDN: <https://elibrary.ru/WLLIBS>.

ВВЕДЕНИЕ

Фталоциановые пигменты представляют собой класс органических соединений, которые находят широкое применение в различных отраслях промышленности благодаря своим уникальным оптическим и химическим свойствам. В последние годы они привлекли внимание исследователей в области влияния на структуру и физико-механические свойства в композиционных материалах, в частности, произведенных на полимерной матрице из первичного [1] и вторичного полипропиленов [2], поликапроамида [3], полиамида 6 [4], а также были исследованы антифрикционные свойства полимочевинных смазок, окрашенных фталоциановыми пигментами [5]. Химическое вспенивание является одной из перспективных технологий получения материалов, позволяющей достичь оптимального сочетания плотности и прочности [6]. Вспененные материалы на основе полиэтилена высокой плотности (ПЭВД), окрашенные фталоциановыми пигментами, демонстрируют изменения механических характеристик, что требует проведения дополнительных исследований для успешного использования таких материалов в различных областях. В данной статье рассматривается влияние фталоциановых пигментов на основные эксплуатационные характеристики композиционного материала на основе ПЭВД, полученного методом компрессионного двухстадийного химического вспенивания. Особое внимание уделяется анализу структурных изменений, происходящих в материале, и их влиянию на конечные физико-механические свойства. Результаты исследования могут способствовать разработке новых материалов с улучшенными характеристиками для применения в различных областях: автомобилестроении, строительстве для производства тепло- и шумоизоляции, упаковочной промышленности.

МЕТОДЫ

В работе исследовались белый и окрашенные вспенивающиеся композиции на основе ПЭВД 15813-020. В качестве порофора использовали азодикарбонамид, активатор вспенивания – стеарат цинка, сшивающий агент – дикумилпероксид. Для определения влияния пигментов на свойства был произведен сравнительный анализ окрашенных материалов с добавлением Blue 15:3 (далее Голубой) и Green 7 (далее Зеленый) в количестве 0,14 мас. % по отношению к полимеру, и эталон –

Таблица 1 – Значения коэффициентов расширения / Table 1 – Values of expansion coefficients

Образец	Длина, мм	Ширина, мм	Коэффициент расширения	Истинная плотность после 1 стадии, кг/м ³
Белый	310	310	1,87	187
Голубой	255	255	1,54	276
Зеленый	280	280	1,67	229

Обращая внимание на разницу в коэффициентах расширения и, как следствие, плотность полуфабрикатов, логично предположить, что добавленные пигменты влияют на технологию получения материала двухстадийного вспенивания, а также, что конечные свойства материалов будут претерпевать изменения. Таким образом, проведены исследования прочностных характеристик полученных материалов, которые представлены в табл. 2. Следует отметить, что после второй стадии вспенивания каждый из представленных образцов достиг необходимой плотности 25 кг/м³. Характеристики, представленные в

композиционный материал с идентичным составом без добавления пигментов (далее Белый). Оценка влияния производилась с помощью исследования следующих показателей: морфология ячеек (определялась по оптическим фотографиям), прочность и удлинение при разрыве, а также показатель водопоглощения. Морфология ячеек оценивалась оптически – микроскопом Levenhuk DTX 500 LCD (Мустек Электроникс Ко., КНР). Прочностные характеристики исследовались в соответствии с ГОСТ 15873-70 на разрывной машине И11М-85 (ООО Точприбор, Россия). Показатель водопоглощения измерялся в соответствии с ГОСТ 4650-2014. Смесь была изготовлена на смесителе роторного типа. Так как процесс производства по технологии двухстадийного вспенивания базируется на последовательном применении двух вулканизационных прессов, то на начальном этапе смесь была помещена с избытком массы в полость пресс-формы, установлены давление и температура, при которой происходило разложение порофора и активировался процесс сшивки макромолекул полимерной матрицы. В процессе образования вулканизационной сетки материала, которая удерживает молекулы газа внутри структуры, также одновременно происходит формование, придающее изделию нужную форму. Затем полуфабрикат был перемещен в другую пресс-форму, где продолжилось разложение порофора. Вторая пресс-форма имеет полость, объем которой в несколько раз превышает объем заготовки, полученной на первом этапе. Поскольку полость второй пресс-формы определяет окончательный размер и плотность вспененного материала, в данной технологии соотношение объемов гнезд форм для первой и второй стадии составляет 1 : 38. После завершения реакции во второй пресс-форме (полное заполнение полости) производилось охлаждение и по достижении комнатной температуры вспененный материал извлекли из пресса [7].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Одним из ключевых показателей для технологии двухстадийного вспенивания является коэффициент расширения полуфабриката после первой стадии, так как данное значение оказывает влияние на цикл производства и характеристики материала. В таблице 1 представлены данные трех образцов: эталон (без пигмента), с добавлением Blue 15:3 и Green 7.

табл. 2, 3, 4, исследовались у окрашенных и бесцветного образцов после второй стадии формования.

Таблица 2 – Прочностные характеристики образцов
Table 2 – Strength characteristics of samples

Образец	Прочность при растяжении, Мпа	Относительное удлинение при разрыве, %
Белый	0,15	144
Голубой	0,185	110
Зеленый	0,175	133

Данные по исследованию водопоглощения представлены в таблице 3.

ВЛИЯНИЕ ФТАЛОЦИАНОВЫХ ПИГМЕНТОВ НА СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА, ПОЛУЧЕННЫМ КОМПРЕССИОННЫМ ДВУХСТАДИЙНЫМ ХИМИЧЕСКИМ ВСПЕНИВАНИЕМ

Таблица 3 – Показатель водопоглощения образцов
Table 3 – Water absorption index of samples

Образец	Показатель водопоглощения, %
Белый	1,2
Зеленый	1,15
Голубой	1

Учитывая разницу значений по водопоглощению и прочностных характеристик бесцветного и окрашенного материалов, было проведено исследование морфологии ячеек, которая представлена на рис. 1 (а – белый, б – голубой, с – зелёный), так как механические свойства зависят, в частности, от размера и геометрии пор [9].

Численные значения размеров единичных ячеек в полученных образцах, которые оценивались по оптическим фотографиям в графической программе для обработки, официально приложенной к оптическому микроскопу, представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Морфология ячеек образцов
Table 4 – Morphology of image cells

Образец	Диаметр ячейки, мм
Белый	0,06±0,013
Голубой	0,026±0,005
Зеленый	0,026±0,005

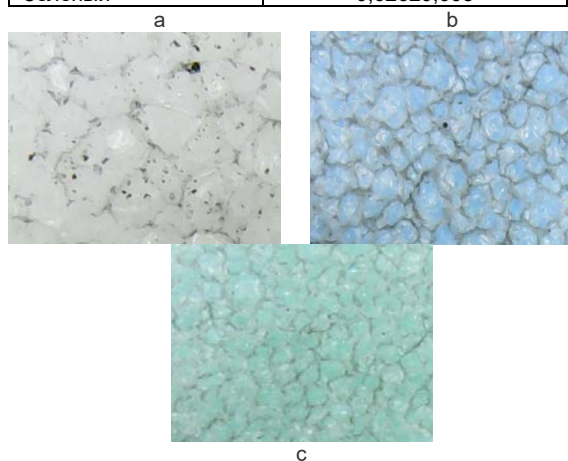


Рисунок 1 – Морфология ячеек

Figure 1 – Cell morphology

Размер ячеек и пор эталона относительно окрашенных образцов значительно больше, что также свидетельствует о влиянии пигментов. Стоит обратить внимание на то, что размер ячеек материалов, полученных по технологии двухстадийного вспенивания, зависят от следующих факторов: давления, температурного режима, времени [8] и концентрации сшивающего агента [9]. Учитывая идентичность рецептуры, за исключением добавления или отсутствия пигментов и технологических параметров, был сделан вывод, что фталоцианиновые пигменты выступают не только в роли окрашивающего агента. На данном этапе имеет смысл обратиться к молекулярным структурам пигментов, которые отображены на рисунке 2 (а – Blue 15:3, б – Green 7).

Исходя из молекулярной структуры пигмента, можно предположить, что катион металла, в частности, медь с валентностью 2, выступает в роли катализатора процесса разложения пероксидов, образуя активные радикалы [9]. Данный механизм представлен на рисунке 3.

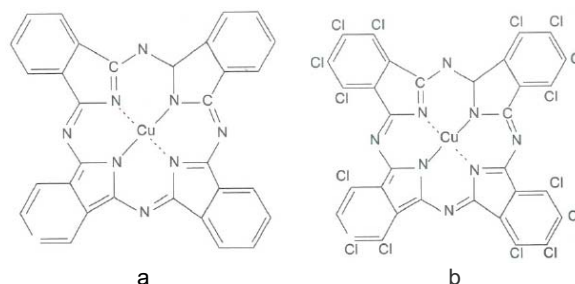


Рисунок 2 – Молекулярная структура пигментов [11]

Figure 2 – Molecular structure of pigments [11]



Рисунок 3 – Механизм иницирования ионами металлов

Figure 3 – Mechanism of initiation by metal ions

ОБСУЖДЕНИЕ

Таким образом, морфология ячеек указывает на то, что размер пор у окрашенных образцов значительно ниже, чем у эталона. Несмотря на то, что пигменты Blue 15:3 и Green 7 относятся к одному классу органических пигментов, тем не менее, влияют на конечные свойства по-разному. Можно предположить, ссылаясь на состав макромолекулы Green 7, что в присутствии хлора в количестве 16 атомов на одну макромолекулу затрудняется процесс иницирования ионами металла разложения пероксида. С целью дальнейшего исследования влияния пигментов данного класса на свойства композиционного материала, полученного компрессионным двухстадийным химическим вспениванием, необходимо провести исследования степени сшивки и оценить кинетику вулканизации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полиэтилен – широко используемый пластик, обладающий широким спектром свойств, зависящих от молекулярной массы, кристалличности, разветвленности цепи и сшивки. ПЭВД обладает более прочными свойствами материала, он тверже, менее прозрачный и более устойчив к высоким температурам. Этот легкий, нетоксичный материал легко перерабатывается и все чаще служит альтернативой менее экологически чистым веществам, поэтому изучение влияния компонентов на конечные свойства получаемых ПЭВД материалов является актуальной задачей. Исследования показали, что окрашивание ПЭВД композиций фталоциановыми пигментами, в частности Blue 15:3 и Green 7, с последующим вспениванием повлияло на конечные свойства материала, уменьшив размер структурных ячеек по сравнению с неокрашенным образцом. Прочность при растяжении выросла с добавлением пигментов, а удлинение, соответственно, снизилось. Значение водопоглощения также снизилось при окрашивании, при этом наименьшее водопоглощение показал образец, полученный с добавлением пигмента Blue 15:3.

Понимание механизмов влияния фталоциановых пигментов на свойства композиционного материала, основанного на полиэтилене высокой плотности (ПЭВД), получаемого методом двухстадийного химического вспенивания, позволит отработать технологии создания материалов с прогнозируемыми свойствами, что в будущем скажется на качестве и сроках эксплуатации выпускаемой из этих материалов продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние фталоцианинового пигмента на структуру ПП / Панкрашин А.В. [и др.] // Пластические массы. 2010. № 9. С. 57–61.
2. Базунова М.В., Ахметханов Р.М., Захаров В.П. Оценка фотоокислительной устойчивости красителей в композитах на основе вторичного полипропилена, наполненного природными компонентами растительного происхождения // Вестник Башкирского университета. 2021. № 1. С. 93–97. DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2021.1.15.
3. Синтез и свойства поликапроамида, окрашенного фталоциановым красителем / А.Н. Федорчук, А.Н. [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. 2012. № 18. С. 126–128.
4. Влияние органических красящих веществ различного типа на структуру и свойства окрашенного полиамида 6 / Панкрашин А.В. [и др.] // Конструкции из композиционных материалов. 2014. № 2. С. 69–73.
5. Исследование влияния пигментов различного происхождения на антифрикционные свойства полимочевинных смазок / Кошелев В.Н. [и др.] // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2016. № 7. С. 68–74.
6. Klempner D., Sendjarevic V. Foams and foam Technology. 2. Munich : Hanser Publishers, 2004. 584 с.
7. Роль технологических факторов в формировании структуры открытопористых вспененных материалов на основе этилен-пропилен-диеновых сополимеров путем компрессионного вспенивания / Толстов А.М. [и др.] // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2024. № 9. С. 29–35. DOI: 10.31044/1994-6260-2024-0-9-29-35.
8. Visualization observation of cells growth in low-density polyethylene foaming processes/ Shan Wu [и др.] // Polymer Testing. 2017. № 63. С. 367–374.
9. Клемпнер Д., Сэндиджаревич В. Полимерные пены и технология вспенивания. Санкт-Петербург : Профессия, 2009. 599 с.
10. Цвайфель Х., Маер Р.Д., Шиллер М. Добавки к полимерам. Санкт-Петербург : Профессия, 2016. 1083 с.
11. Мюллер А. Окрашивание полимерных материалов. СПб. : Профессия, 2019. 288 с.

Информация об авторах

И. П. Худякова – аспирант центра химической инженерии ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО», инженер-технолог 1 категории отдела исследований и разработок «Gavary Group».

А. А. Пономарева – кандидат технических наук, доцент центра химической инженерии ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО», доцент ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».

Е. Г. Поповских – инженер-технолог отдела исследований и разработок «Gavary Group».

REFERENCES

1. Pankrashkin, A.V., Ivanov, A.N., Chalykh, A.E., Matveev, V.V. & Kalugina, E.V. (2010). The effect of blue phthalocyanine pigment on the structure of PP. Plastic masses, 9, 57-61. (In Russ.).

2. Bazunova, M.V., Akhmetkhanov, R.M. & Zakharov, V.P. (2021). Assessment of the photo-oxidative stability of dyes in composites based on recycled polypropylene filled with natural components of plant origin. Bulletin of Bashkir University, 26 (1), 93-98. DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2021.1.15. (In Russ.).
3. Fedorchuk, A.N., Kosolapov, A.N., Spiridonova, R.R. & Samuilov, Ya.D. (2012). Synthesis and properties of polycapraamide stained with phthalocyanine dye. Bulletin of Kazan Technological University, 15 (18), 126-128.
4. Pankrashkin, A.V., Ivanov, A.N., Kalugina, E.V., Chalykh, A.E. Matveev, V.V. & Ushakova, O.B. (2014). The effect of organic coloring substances of various types on the structure and properties of colored polyamide 6. Structures made of composite materials, 2, 69-73.
5. Koshelev, V.N., Tonkonogov, B.P., Kilyakova, A.Y., Aleksanyan, K.G., Movsumzade, E.M., Aleksanyan, D.R. & Glicheva, K.R. (2016). Investigation of the effect of pigments of various origins on the antifriction properties of polyurea lubricants. News of higher educational institutions. Chemistry and Chemical Technology, 59 (7), 68-74.
6. Klempner, D. & Sendjarevic, V. (2004). Foams and Foam Technology. Munich : Hanser Publishers.
7. Tolstov, A.M., Naumova, J.A., Popovskikh, E.G. & Khudiakova, I.P. (2024). The role of technological factors in the formation of the structure of open-cell foamed materials based on ethylene-propylene-diene copolymers by compression foaming. All materials. Encyclopedic reference, (№ 9), 29-35. (In Russ.). DOI: 10.31044/1994-6260-2024-0-9-29-35.
8. Shan, Wu, Li, He, Chun, Zhang, Wei, Gong, Yue, He & Yuan, Luo. (2017). Visualization observation of cells growth in low-density polyethylene foaming processes. Polymer Testing, 63, 367-374.
9. Klempner, D. & Sendjarevich, V. (2009). Polymer foams and foaming technology. Saint-Petersburg : Profession. (In Russ.).
10. Zweifel, H., Maer, R.D. & Schiller, M. (2016). Additions to polymers. Saint-Petersburg : Profession. (In Russ.).
11. Muller, A. (2019). Staining of polymer materials Saint-Petersburg : Profession. (In Russ.).

Information about the authors

I.P. Khudyakova - graduate student of the Center for Chemical Engineering of the Federal State Educational Institution of Higher Education "National Research University of ITMO", engineer R&D department of the «Gavary Group».

A.A. Ponomareva - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Center for Chemical Engineering of the Federal State Educational Institution of Higher Education "National Research University of ITMO", Associate Professor of the Federal State Educational Institution of Higher Education "Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University".

E.G. Popovskikh - engineer R&D department of the «Gavary Group».

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 27 ноября 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 27Nov 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.



Научная статья

2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (технические науки)
УДК 678: 678.7

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.028



ТЕРМИЧЕСКОЕ СТАРЕНИЕ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ И РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА СРОКА ИХ СЛУЖБЫ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Владимир Николаевич Стрельников¹, Анатолий Иванович Гладышев²,
Мария Владимировна Перепада³, Станислав Владимирович Ерышканов⁴,
Валерий Юльевич Сеничев⁵

^{1, 3, 5} Институт технической химии УрО РАН, Пермь, Россия

² Российский новый университет, Москва, Россия

⁴ АО «Научно-исследовательский институт полимерных материалов», Пермь, Россия

¹ svn@itch.perm.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8254-4906>

² gladyshev@mail.ru

³ mari.perepada@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3355-6913>

⁴ stanislav777@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0008-6636-8365>

⁵ senichev85@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5988-3982>

Аннотация. В статье представлены данные по термическому и термоокислительному старению трех литевых полиуретановых эластомеров в диапазоне температур от 90 до 120 °С. Эти данные включают в себя показатели прочности на разрыв, условного модуля и критической деформации при разрыве. Анализ изменения указанных характеристик в процессе старения в условиях атмосферы и без доступа кислорода позволили оценить соответствующие закономерности изменения структуры исследованных материалов. Использование методики ГОСТа 9.707-81 для численной оценки изменения при старении прочности позволило получить расчетные значения срока службы исследованных материалов в различных условиях в диапазоне температур до 120 °С. Впервые такие данные получены для широко используемых литевых полиуретанов типа СКУ-ПФЛ и СКУ-7Л. Показано, что срок службы таких материалов в тропическом климате при воздействии солнечного излучения может превышать 40 лет.

Ключевые слова: полиуретан, эластомеры, ускоренное тепловое старение, физико-механические свойства.

Благодарности: Работа выполнена в рамках Государственного задания (номер государственной регистрации темы 124022200003-8) с использованием оборудования ЦКП «Исследования материалов и веществ» ПФИЦ УрО РАН.

Для цитирования: Термическое старение полиуретановых эластомеров и расчетная оценка срока их службы при повышенных температурах / В. Н. Стрельников [и др.] // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 163–169. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.028. EDN: <https://elibrary.ru/UVGKRH>.

Original article

THERMAL AGING OF POLYURETHANE ELASTOMERS AND ESTIMATED SERVICE LIFE AT ELEVATED TEMPERATURES

Vladimir N. Strel'nikov¹, Anatoliy I. Gladyshev², Maria V. Perepada³,
Stanislav V. Eryshkanov⁴, Valeriy Yu. Senichev⁵

^{1, 3, 5} Institute of technical chemistry UrB RAS, Perm, Russia

² Russian New University, Moscow, Russia

⁴ Joint Stock Company «Research institute of polymeric materials», Perm, Russia

¹ svn@itch.perm.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8254-4906>

² gladyshev@mail.ru

³ mari.perepada@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3355-6913>

⁴ stanislav777@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0008-6636-8365>

⁵ senichev85@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5988-3982>

Abstract. The article presents data on thermal and thermo-oxidative aging of three cast polyurethane elastomers in the temperature range from 90 to 120 °C. These data include values of tensile strength, conditional modulus and critical strain at break. Analysis of changes in these characteristics during aging in atmospheric conditions and without oxygen access allowed us to estimate the corresponding patterns of change in the structure of the studied materials. Using the GOST 9.707-81 meth-

© Стрельников В. Н., Гладышев А. И., Перепада М. В., Ерышканов С. В., Сеничев В. Ю., 2025

odology for numerically assessing changes in strength during aging allowed us to obtain calculated values of the service life of the studied materials under various conditions in the temperature range up to 120 °C. For the first time, such data were obtained for widely used cast polyurethanes such as SCU-PFL and SCU-7L. It was proven that the service life of such materials in a tropical climate when exposed to solar radiation may exceeds 40 years.

Keywords: polyurethane, elastomers, accelerated thermal aging, physico-mechanical properties.

Acknowledgements: The work was carried out in the framework of the State Assignment (registration number 124022200003-8) using the equipment of the Center for Collective Use "Investigations of materials and substances" of Perm Federal Research Center of Ural Branch of Russian Academy of Sciences.

For citation: Strelnikov, V.N., Gladyshev, A.I., Perepada, M.V., Eryshkanov, S.V. & Senichev, V.Yu. (2025). Thermal aging of polyurethane elastomers and estimated service life at elevated temperatures. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 163-169. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.028. EDN: <https://elibrary.ru/UVGKRH>.

ВВЕДЕНИЕ

Благодаря своим высоким физико-механическим и эксплуатационным характеристикам полиуретановые эластомеры широко используются в самых разнообразных отраслях экономики [1–4]. Однако их существенным недостатком по сравнению с резинами на основе карбоцепных каучуков является более низкая термостойкость [5, 6]. Наибольшую роль в этом явлении играют такие факторы, как термостабильность эфирных связей, уретановых и мочевинных групп [7–10].

Известные результаты в принципе свидетельствуют, что в настоящее время практически невозможно добиться повышения верхней границы температурного диапазона эксплуатации полиуретанов, например, до 150 °C, что на 70 °C выше декларируемого обычно в настоящее время верхнего порога их использования (80 °C) [11–14].

Тем не менее, необходимость соответствия наиболее известных марок литьевых полиуретанов запросам промышленности вынуждает более детально выяснить термическое старение этих материалов в области температур 40–90 °C, что соответствует условиям эксплуатации в жарких регионах Земли или горячих цехов некоторых промышленных производств, и оценить срок их возможной эксплуатации в указанных условиях. Для оценки возможного срока службы полимерных материалов наиболее широко применяется метод ускоренного теплового испытания, использовавшийся для аналогичных целей применительно к территории России [15]. Целью настоящей работы являлось проведение ускоренного термического старения полиуретановых эластомеров нескольких типов и определение особен-

ностей процесса их старения в диапазоне температур от 90 до 120 °C.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве исходных компонентов для синтеза использовали 2,4-толуилиндиизоцианат (ТДИ); 3-изоцианатометил-3,5,5-триметилциклогексил изоцианат (изофорондиизоцианат); полифурит (простой олигоэфир, производное политетрагидрофурана) с молекулярной массой 1000 (ПФ-1000); олигоэфир П-6 (полиэтиленгликоль адипат) с молекулярной массой 1954 г/моль; 4,4'-метилден-бис-(охлоранилин) (МОСА). При изготовлении образца КДА на основе П-6 также дополнительно использовался антиоксидант Naugard 445 в количестве 1 %. Синтез образцов эластомеров выполнялся по двухстадийной методике с предварительным изготовлением изоцианатсодержащих форполимеров на основе изофорондиизоцианата либо ТДИ и олигоэфира П-6, либо ПФ-1000 при последующем отверждении МОСА согласно методике [16]. Методика проведения ускоренных тепловых испытаний соответствовала ГОСТ 9.707-81 [17]. В качестве основного характерного показателя, по которому проводилась сравнительная оценка стойкости материалов, была выбрана прочность при простом растяжении. В ходе работ были выбраны температуры от 90 °C до 120 °C (с шагом в 10 °C) и срок проведения испытаний от 16 до 70 суток. Физико-механические свойства образцов определяли на испытательной машине INSTRON 3365 при температуре 25±1 °C с использованием образцов типа IV в соответствии с ГОСТ 270-75.

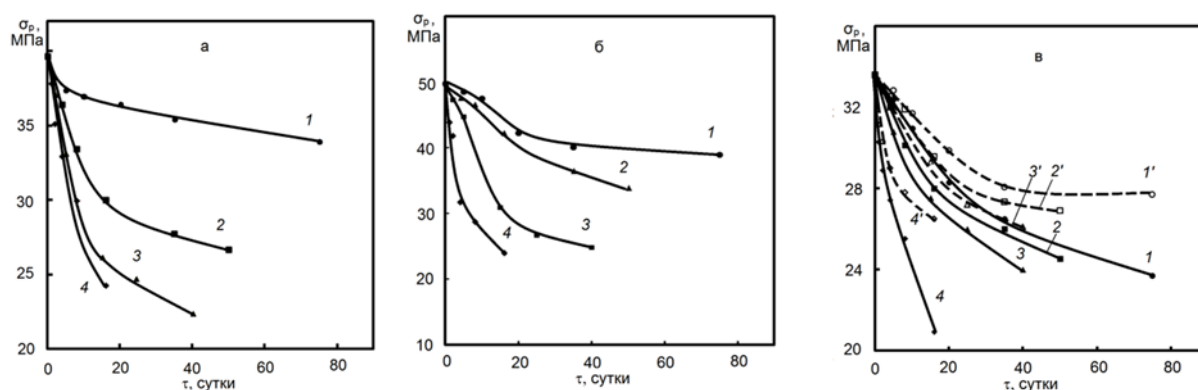


Рисунок 1 – Зависимость прочности при 25 °C от срока выдержки при повышенных температурах для образцов серии СКУ-ПФЛ (а), СКУ-7Л (б) и КДА (в). 1, 1'–90 °C, 2, 2'–100 °C, 3, 3'–110 °C, 4, 4'–120 °C. Кривые 1'–4' (пунктир) относятся к образцам КДА-2

Figure 1 – Dependence of tensile strength at 25 °C on the holding time at elevated temperatures for samples of the SCU-PFL (a), SCU-7L (b) and KDA (c) series. 1, 1'–90 °C, 2, 2'–100 °C, 3, 3'–110 °C, 4, 4'–120 °C. Curves 1'–4' (dashed lines) refer to the KDA-2 samples

ТЕРМИЧЕСКОЕ СТАРЕНИЕ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ И РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА СРОКА ИХ СЛУЖБЫ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

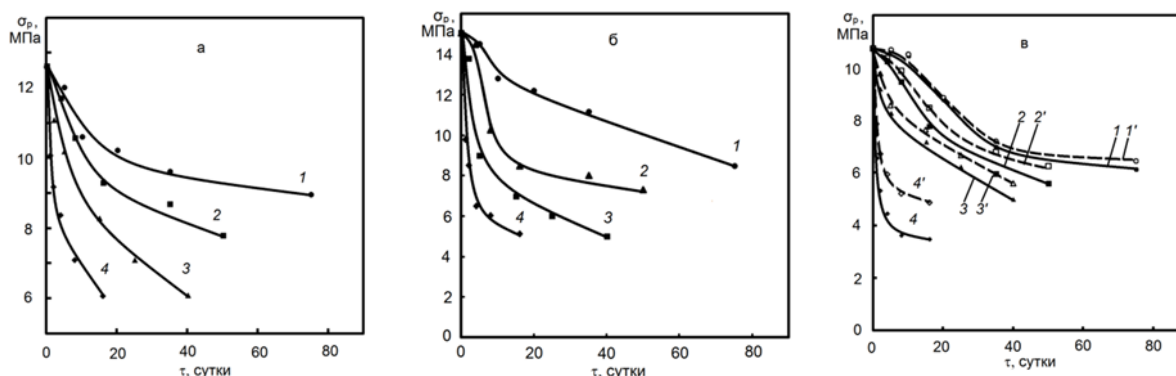


Рисунок 2 – Зависимость прочности при 90 °C от срока выдержки при повышенных температурах для образцов серии СКУ-ПФЛ (а), СКУ-7Л (б) и КДА (в). Обозначения кривых соответствуют рисунку 1

Figure 2 – Dependence of tensile strength at 90 °C on the holding time at elevated temperatures for samples of the SCU-PFL (a), SCU-7L (b) and KDA (c) series. 1,1'–90 °C, 2,2'–100 °C, 3,3'–110 °C, 4,4'–120 °C.

The curve designations correspond to Fig.1

ИК-спектры отвержденных образцов до и после проведения термостатирования регистрировали на ИК-Фурье спектрометре IFS-66/S фирмы Bruker при разрешении 1 см⁻¹ при помощи приставки НРВО. Спектральные кривые нормировали по полосе при 1600 см⁻¹, характеристической для валентных колебаний С–С арильного кольца. Равновесное набухание образцов проводилось с использованием этилацетата по методике, изложенной в работе [18].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как было установлено, для серии образцов СКУ-ПФЛ по мере увеличения срока продолжительности выдержки образцов при повышенной температуре величины прочности закономерно снижаются (рис. 1–2). Интересно, что относительная величина условного модуля (напряжение при относительном удлинении 100 %) после ускоренного старения имела более высокий уровень, чем соответствующий показатель прочности.

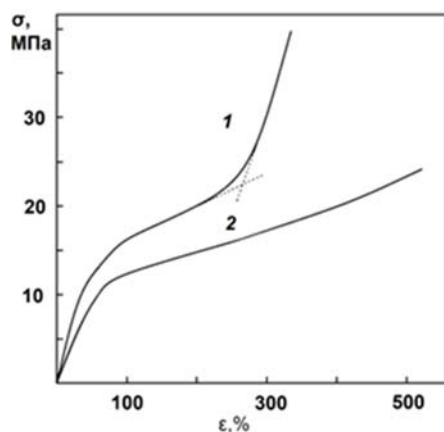


Рисунок 3 – График зависимости напряжения от деформации для образца СКУ-ПФЛ при 25 °C: 1 – исходный образец, 2 – после старения при 120 °C в течение 16 суток

Figure 3 – Dependence of stress on deformation for the SCU-PFL sample at 25 °C:

1 – initial sample, 2 – sample after aging at 120 °C for 16 days

Основной причиной более резкого снижения прочности, чем модуля, являлось изменение характера зависимости напряжения от деформации. По мере выдержки образца на повышенной температуре практически исчезает эффект «упрочнения», проявляющийся в перегибе графика функции $\sigma = f(\epsilon)$ в области высоких значений относительного удлинения (рис. 3). Известно, что данный эффект для сегментированных полиуретанов обычно связывают с перестройкой доменной структуры при высоких напряжениях.

Для образцов, испытанных при 90 °C, относительная величина остаточной прочности имеет более высокий уровень, чем для аналогов, испытанных при 25 °C, но по абсолютной величине значения прочности в 3–4 раза ниже, чем у аналогов, испытанных при 25 °C.

Для серии образцов СКУ-7Л по мере увеличения продолжительности выдержки образцов при температуре тенденции снижения величин условного модуля и прочности схожи с СКУ-ПФЛ.

Для образцов серии КДА параллельно были проведены ускоренные температурные испытания как в среде атмосферы (КДА-1), так и в условиях герметичности (КДА-2).

Для образцов КДА-1, испытанных при 25 °C, относительная величина остаточной прочности (по отношению к соответствующей величине до выдержки при заданной температуре) составила от 70.5 % при 90 °C до 62.3 % при 120 °C, для остаточного условного модуля составили от 80.3 % до 73.6 %. Так же, как и для СКУ-7Л, наблюдалось заметное повышение относительной величины деформации при разрыве.

Для образцов КДА-2, испытанных при 25 °C, относительная величина остаточной прочности (по отношению к соответствующей величине до выдержки при заданной температуре) составила от 82.4 % при 90 °C до 78.9 % при 120 °C. По абсолютной величине остаточные значения прочности были приблизительно на 10 % выше, чем для образцов КДА-1. Схожие результаты были получены для образцов КДА и при испытаниях на 90 °C.

Изменение надмолекулярной структуры исследованных эластомеров во время старения было оценено путем анализа фрагментов ИК-спектров образцов в области поглощения С = О группы (рис. 4).

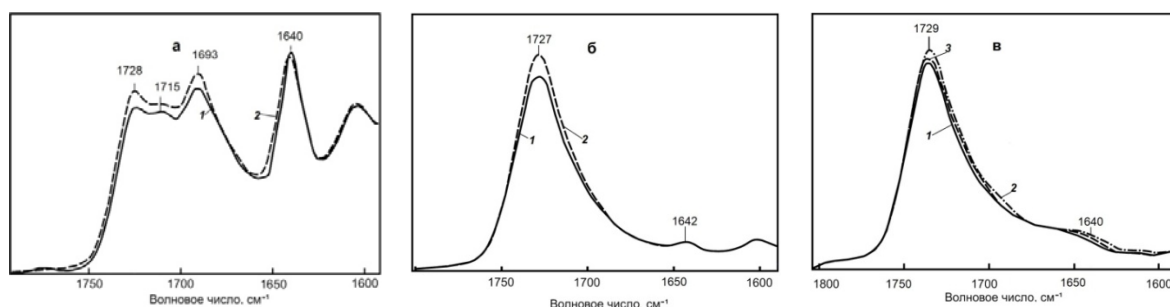


Рисунок 4 – Фрагменты ИК-спектров образцов СКУ-ПФЛ (а), СКУ-7Л (б) и КДА (в) в области поглощения С = О группы до и после термостарения. 1 – образец до термостарения; 2 – после термостарения в воздушной атмосфере; 3 – после термостарения без доступа кислорода

Figure 4 – Fragments of FTIR spectra of samples SCU-PFL (a), SCU-7L (b) and KDA ones (c) in the absorption region of the C=O group before thermal aging and after it. 1 – sample before thermal aging, 2 – sample after thermal aging in an air atmosphere, 3 – sample after thermal aging without oxygen access

Из спектров видно, что на всех образцах интенсивность полосы поглощения при $1640\div 1642\text{ см}^{-1}$, относимой к колебаниям упорядоченных С = О групп уретановых, мочевиных, сложноэфирных фрагментов, связанных водородными связями, после термостарения снижается. Кроме того, в исследованных фрагментах спектров проявляется полоса при $1726\text{--}1731\text{ см}^{-1}$, которая относится к поглощению свободного карбонила, полоса при $1714\div 1715\text{ см}^{-1}$, относящаяся к поглощению связанных С = О групп в составе разупорядоченных фрагментов, имеющих в гибкой фазе полимера, и полоса при $1690\div 1695\text{ см}^{-1}$, относимая к свободным С = О группам в мочевиных и уретановых группах [19]. При этом небольшие изменения в интенсивности полосы при $1726\text{--}1731\text{ см}^{-1}$ имели для отдельных образцов разнонаправленный характер, что можно связать с частичной деградацией сложноэфирного сегмента, а полоса при 1715 см^{-1} и 1693 см^{-1} хорошо выделялась только для СКУ-ПФЛ, что можно отнести к большей концентрации уретановых групп в данном образце. В целом полученные результаты можно связать с тенденцией некоторого снижения степени микрофазового разделения в отвержденных эластомерах в течение процесса термостарения.

Интересные результаты были получены также при равновесном набухании эластомеров в этилацетате. Известно, что равновесное набухание позволяет определять плотность пространственной сетки сшитых эластомеров [20]. Однако для сегментированных полиуретановых эластомеров плотность пространственной сетки представляет собой сумму величин, относящихся к сетке, обусловленной химическими связями, и сетке, в которой домены жестких сегментов играют роль узлов [21, 22]. Разделение этих составляющих возможно в том случае, когда известен растворитель, полностью разрушающий указанные выше жесткие домены [21], что для полиуретанов на основе сложных олигоэфиров невозможно. Тем не менее, полученные результаты по равновесному набуханию в этилацетате (табл. 1), позволяют оценить степень деградации сетки исследованных образцов при термостарении.

Полученные результаты имеют прямую корреляцию с последовательным изменением физико-механических характеристик образцов при старении и эффектом снижения степени фазового разделения, влияющего на уменьшение концентрации жестких доменов, играющих роль узлов физической сетки.

Таблица 1 – Изменение равновесного набухания образцов эластомеров в этилацетате после выдержки при 90°C в течение 16 суток.

Table 1 – Change in the equilibrium swelling of elastomer samples in ethyl acetate after exposure at 90°C for 16 days

Образец	Равновесное набухание, % мас.	
	Исходный образец	Образец после термостарения
СКУ-ПФЛ	75,5	107,9
СКУ-7Л	42,1	45,9
КДА-1	121,7	368,2
КДА-2		143,0

Далее использование значений прочности эластомеров в процессе ускоренного теплового старения позволило оценить срок их службы при различных условиях в рамках исследованного температурного диапазона.

Обработка результатов эксперимента выполнена при помощи кинетического уравнения первого порядка (1):

$$\sigma_\tau = \sigma_n + (\sigma_0 - \sigma_n) \exp(-k(T)\tau), \quad (1)$$

где σ_τ – изменение прочности в момент времени τ (сутки); σ_0 – исходное значение прочности; σ_n – предельное значение прочности при $\tau \rightarrow \infty$; $k(T)$ – константа скорости процесса старения, сутки $^{-1}$; T – температура, К.

Определение значений констант скоростей k при каждой температуре выполнено методом наименьших квадратов (МНК) при заданном значении σ_n . (табл. 2, 3).

Таблица 2 – Результаты определения констант скоростей процесса старения k . Температура испытания $T_{\text{исп.}} = 25^\circ\text{C}$

Table 2 – Results of determination of the rate constants (k) of the aging process. Test temperature is 25°C

$T, ^\circ\text{C}$	$k, \text{сутки}^{-1}$			
	КДА-1	КДА-2	СКУ-7Л	СКУ-ПФЛ
90	0,01980	0,02372	0,00520	0,00825
100	0,02489	0,04472	0,01080	0,02491
110	0,03430	0,09406	0,04381	0,05697
120	0,19358	0,17686	–	0,09411
σ_0	33,6	33,6	49,9	39,7
σ_n	20,5	26	10	20

ТЕРМИЧЕСКОЕ СТАРЕНИЕ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ И РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА СРОКА ИХ СЛУЖБЫ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Таблица 3 – Результаты определения констант скоростей процесса старения k . Температура испытания $T_{исп.} = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$

Table 3 – Results of determination of the rate constants (k) of the aging process. Test temperature is $90\text{ }^{\circ}\text{C}$

$T, ^{\circ}\text{C}$	$k, \text{сутки}^{-1}$			
	КДА-1	КДА-2	СКУ-7Л	СКУ-ПФЛ
90	0,01690	0,014824	0,01241	0,01050
100	0,02389	0,022957	0,02830	0,02152
110	0,03537	0,037143	0,06562	0,05029
120	0,46876	0,347629	–	0,13508
σ_0	10,7	10,7	15,1	12,6
σ_n	3	4	4	5

Температурная зависимость константы скорости процесса старения описывается при помощи уравнения Аррениуса (2):

$$k(T) = k_0 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right), \quad (2)$$

где k_0 – предэкспоненциальный множитель, сутки^{-1} ; E – температурный коэффициент процесса старения; R – универсальная газовая постоянная. Результаты определения коэффициентов k_0 и E при помощи МНК исследованных материалов представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты определения показателей k_0 и E уравнения (2)

Table 4 – Results of determination of the rate constants (k) and E parameter in (2)

Материал	$T_{исп.}, ^{\circ}\text{C}$	$k_0, \text{сутки}^{-1}$	E	
			Дж/моль	кал/моль
КДА-1	25	$1,78 \cdot 10^{10}$	84000	20060
	90	$3,18 \cdot 10^{15}$	121510	29020
КДА-2	25	$8,22 \cdot 10^9$	80330	19190
	90	$6,53 \cdot 10^{14}$	116870	27910
СКУ-7Л	25	$2,18 \cdot 10^{15}$	122900	29350
	90	$8,66 \cdot 10^{11}$	96290	23000
СКУ-ПФЛ	25	$7,85 \cdot 10^{11}$	96830	23130
	90	$3,01 \cdot 10^{12}$	100790	24070

За критерий потери работоспособности принято снижение прочности материалов на 30 % относительно исходного уровня [23]. В качестве общих условий хранения принят диапазон температур от минус $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до плюс $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ при нормальном законе распределения в течение года, сухой тропический климат по ГОСТ 24482-80 [24] с учётом солнечного излучения по ГОСТ 15150-69 [25]. Для прогноза изменения прочности материалов использованы кинетические закономерности, полученные при температуре испытания $25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В качестве теплонапряжённых условий принят диапазон от $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ при равномерном законе распределения. Для прогноза в данном случае использованы кинетические закономерности, полученные при температуре испытания $90\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Результаты прогнозов представлены в таблице 5. Прогноз выполнен при помощи уравнения (3), полученного из уравнения (1), и температурной зависимости константы скорости старения в виде уравнения Аррениуса (2) с соответствующими показателями, полученными для каждого материала (табл. 3).

$$\tau_{\text{крит}} = \frac{\ln\left(\frac{0,3\sigma_0 - \sigma_n}{\sigma_0 - \sigma_n}\right)}{k(T)}, \quad (3)$$

где $\tau_{\text{крит}}$ – время достижения критического значения показателя $\sigma = 0,3\sigma_0$.

Таблица 5 – Прогнозируемый срок службы материалов при хранении и эксплуатации

Table 5 – Predicted service life of materials during storage and operation

Материал	Срок службы		
	-50÷120 $^{\circ}\text{C}$	сухой тропический климат	60÷90 $^{\circ}\text{C}$
	$T_{исп.} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{исп.} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{исп.} = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$
	годы	годы	месяцы
КДА-1	2,8	более 40	6,0
КДА-2	3,0	более 40	8,9
СКУ-7Л	2,1	более 40	5,7
СКУ-ПФЛ	1,7	более 40	9,8

В результате прогнозов установлено:

- срок службы изделий из состава КДА при хранении и эксплуатации в диапазоне температур от минус $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до плюс $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ на открытом воздухе составляет около 2,8 года, без доступа кислорода срок службы может увеличиться до 3 лет, при хранении и эксплуатации в диапазоне температур от $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ на открытом воздухе составляет около 6 месяцев, без доступа кислорода срок службы может увеличиться до 8,9 месяцев;

- срок службы изделий из составов СКУ-7Л и СКУ-ПФЛ в диапазоне температур от минус $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до плюс $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ на открытом воздухе составляет около 2,1 и 1,7 года соответственно; в диапазоне температур от $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ на открытом воздухе составляет около 5,7 и 9,8 месяцев соответственно;

- срок службы всех рассмотренных материалов в тропическом климате при воздействии солнечного излучения превышает 40 лет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлены особенности изменения сетчатой структуры несколько серий сшитых полиуретанмочевинных эластомеров при ускоренном тепловом старении, происходящие по механизму деградации. Для всех исследованных материалов по ходу старения наблюдались тенденции снижения уровня модуля и прочности, а также увеличения относительной деформации при разрыве. На основе времени, необходимого для достижения порога разрушения во время термического старения, была проведена расчетная оценка срока службы исследованных эластомеров при различных температурах с использованием уравнения Аррениуса. Расчетный срок службы исследованных эластомеров составил более 40 лет в тропическом климате и от 5,7 до 9,8 месяцев при температурах от $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $90\text{ }^{\circ}\text{C}$. Эти результаты могут быть использованы для оценки применимости исследованных материалов для конкретных условий эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Любартвич С.А., Морозов Ю.Л., Третьяков О.Б. Реакционное формирование полиуретанов. М. : Химия, 1990. 288 с.
2. Akindoyo J.O., Beg M.D.H., Ghazali S., Islam M.R., Jeyaratnam N. and Yuvaraj A.R. Polyurethane types, synthesis and applications – a review // RSC Adv., 2016, 6, 114453. DOI: 10.1039/c6ra14525f.
3. Das A., Mahanwar P. A brief discussion on advances in polyurethane applications // Advanced Industrial and Engineering Polymer Research 3 (2020) 93–101. DOI: 10.1016/j.aiepr.2020.07.002.
4. Prisacariu C. Polyurethane elastomers: from morphology to mechanical aspects. Springer Science & Business Media, 2011.

5. Petrović Z.S., Zavargo Z., Flynn J.H., Macknight W.J. Thermal degradation of segmented polyurethanes // *Journal of Applied Polymer Science*. 1994. Т. 51. № 6. С. 1087–1095. DOI: 10.1002/app.1994.070510615.
6. Lage L.G., Kawano Y. Thermal degradation of biomedical polyurethanes – A kinetic study using high-resolution thermogravimetry // *Journal of applied polymer science*. 2001. Т. 79. № 5. С. 910–919. DOI: 10.1002/1097-4628(20010131)79:5<910::AID-APP150>3.0.CO;2-N.
7. Chattopadhyay D.K., Webster D.C. Thermal stability and flame retardancy of polyurethanes // *Progress in Polymer Science*. 2009. Т. 34. № 10. С. 1068–1133. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2009.06.002.
8. Servay T., Voelkel R., Schmiedberger H., Lehmann S. Thermal oxidation of the methylene diphenylene unit in MDI-TPU // *Polymer*. 2000. Т. 41. № 14. С. 5247–5256. DOI: 10.1016/S0032-3861(99)00743-0.
9. Mathur G., Kresta J.E., Frisch K.C. Stabilization of polyether-urethanes and polyether (urethane-urea) block copolymers. *Detroit Polymer Inst.*, 1978. 198 p.
10. Wang T.L., Hsieh T.H. Effect of polyol structure and molecular weight on the thermal stability of segmented poly (urethaneureas) // *Polymer degradation and stability*. 1997. Т. 55. № 1. С. 95–102. DOI: 10.1016/S0141-3910(96)00130-9.
11. Кирпичников П.А., Зенитова Л.А., Бакирова И.Н. Теория и практика полиуретанов // *Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские сообщения*. 1999. № 1. С. 57–60.
12. Grassie N., Zulfiqar M., Guy M.I. Thermal degradation of a series of polyester polyurethanes // *Journal of Polymer Science: Polymer Chemistry Edition*. 1980. Т. 18. № 1. С. 265–274. DOI: 10.1002/pol.1980.170180125.
13. Mathur G.N., Kresta J.E. Thermooxidation and stabilization of urethane and urethane-urea block copolymers // *Polymer Additives*. Boston, MA : Springer US. 1984. С. 135–153. DOI: 10.1007/978-1-4613-2797-4_12.
14. Tcharkhtchi A., Farzaneh S., Abdallah-Elhirs S., Esmaeilou B., Nony F., Baron A. Thermal aging effect on mechanical properties of polyurethane // *International Journal of Polymer Analysis and Characterization* 2014. V. 19. P. 571–584. DOI: 10.1080/1023666X.2014.932644.
15. Гуров Д.С., Новоточинова Е.А., Одинцов Ю.Т., Зиновьев В.М., Ерышканов С.В. Прогноз изменения механических характеристик полиуретана методом ускоренных тепловых испытаний // *Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации*, 2015. Т. 1, С. 208–212.
16. Tereshatov V.V., Slobodinyuk A.I., Makarova M.A., Pinchuk A.V., Senichev V.Yu. Characteristics of Polyether Urethanes with Mixed Soft Segments, Prepared by Two- and Three-Step Procedures // *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2016, V. 89, P. 943–948. DOI: 10.1134/S1070427216060161.
17. ГОСТ 9.707-81. Материалы полимерные. Методы ускоренных испытаний на климатическое старение. Введ. 1983-01-01. М. : Государственный комитет по стандартам, 1982. 56 с.
18. Zellers E.T., Anna D.H., Sulewski R., Xiaoronc W.E. Critical Analysis of the Graphical Determination of Hansen's Solubility Parameters for Lightly Crosslinked Polymers // *J. Appl. Polym. Sci.* 1996. V. 62. P. 2069–2080. DOI: 10.1002/(SICI)1097-4628(19961219)62:12<2069::AID-APP150>3.0.CO;2-1.
19. Ning L., De-Ning W., Sheng-Kang Y. Hydrogen-Bonding Properties of Segmented Polyether Poly (urethane urea) Copolymer // *Macromolecules* 1997, V. 30, P. 4405–4409. DOI: 10.1021/ma951386e.
20. Липатов Ю.С., Нестеров А.Е., Гриценко Т.М., Веселовский Р.А. Справочник по химии полимеров. Киев : Наукова думка, 1971. 536 с.
21. Терешатова Э.Н., Терешатов В.В., Бегишев В.П., Макарова М.А. О выборе растворителей для

определения параметров сетки сегментированных полиуретанов // *Высокомолекулярные соединения*. 1992. Т. 34. № 8. С. 22–26.

22. Терешатов В.В., Терешатова Э.Н., Волкова Е.Р. Два типа физической сетки в сшитых сегментированных полиуретанах // *Высокомолекулярные соединения*. 1995. Т. 37. № 11. С. 1881–1887.
23. Hong S., Park N., Ju S., Lee A., Shin Y., Kim J.S., Um M.-K., Yi J.W., Chae H.G., Park T. Molecular degradation mechanism of segmented polyurethane and life prediction through accelerated aging test // *Polymer Testing*. 2023. 124. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2023.108086.
24. ГОСТ 24482-80. Микроклиматические районы Земного Шара с тропическим климатом. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей. М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1981. 94 с.
25. ГОСТ 15150-69. Машины. Приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов, категории, условия эксплуатации хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. Введ. 1971–01–01. М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1989. 56 с.

Информация об авторах

В. Н. Стрельников – д.т.н., профессор, чл.-корр. РАН, директор «Института технической химии УрО РАН», филиала Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН.

А. И. Гладышев – д.т.н., доцент, профессор кафедры информационных технологий и естественно-научных дисциплин Автономной некоммерческой организации высшего образования «Российский новый университет» (г. Москва).

М. В. Перепада – аспирант «Института технической химии УрО РАН» Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН.

С. В. Ерышканов – к.т.н., старший научный сотрудник АО «Научно-исследовательский институт полимерных материалов» (г. Пермь).

В. Ю. Сеничев – к.т.н., заведующий лабораторией полимерных материалов «Института технической химии УрО РАН», филиала Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН.

REFERENCES

1. Lyubartovich, S.A., Morozov, Yu.L., Tretyakov, O.B. (1990). *Reaction formation of polyurethanes*. Moscow: Khimiya. (In Russ.).
2. Akindoyo, J.O., Beg, M.D.H., Ghazali, S., Islam, M.R., Jeyaratnam N. and Yuvaraj A.R. (2016). Polyurethane types, synthesis and applications - a review. *RSC Adv.*, 6, Article 114453. <https://doi.org/10.1039/c6ra14525f>.
3. Das, A., Mahanwar, P. (2020). A brief discussion on advances in polyurethane applications. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 3, 93–101. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2020.07.002>.
4. Prisacariu, C. (2011). *Polyurethane elastomers: from morphology to mechanical aspects*. - Springer Science & Business Media.
5. Petrović, Z.S., Zavargo, Z., Flynn, J.H., Macknight, W.J. (1994). Thermal degradation of segmented polyurethanes. *Journal of Applied Polymer Science*, 51(6), 1087–1095. <https://doi.org/10.1002/app.1994.070510615>.
6. Lage, L.G., Kawano, Y. (2001). Thermal degradation of biomedical polyurethanes - A kinetic study using

ТЕРМИЧЕСКОЕ СТАРЕНИЕ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ И РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА СРОКА ИХ СЛУЖБЫ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

- high-resolution thermogravimetry. *Journal of Applied Polymer Science*. 79(5), 910-919. [https://doi.org/10.1002/1097-4628\(20010131\)79:5<910::AID-APP150>3.0.CO;2-N](https://doi.org/10.1002/1097-4628(20010131)79:5<910::AID-APP150>3.0.CO;2-N).
7. Chattopadhyay, D.K., Webster, D.C. (2009). Thermal stability and flame retardancy of polyurethanes. *Progress in Polymer Science*, 34(10), 1068-1133. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2009.06.002>.
8. Servay, T., Voelkel, R., Schmiedberger, H., Lehmann, S. (2000). Thermal oxidation of the methylene diphenylene unit in MDI-TPU. *Polymer*, 41(14), 5247-5256. [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(99\)00743-0](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(99)00743-0).
9. Mathur, G., Kresta, J.E., Frisch, K.C. (1978). Stabilization of polyether-urethanes and polyether (urethane-urea) block copolymers. Detroit Polymer Inst.
10. Wang, T.L., Hsieh, T.H. (1997). Effect of polyol structure and molecular weight on the thermal stability of segmented poly (urethaneureas). *Polymer degradation and stability*, 55(1), 95-102. [https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(96\)00130-9](https://doi.org/10.1016/S0141-3910(96)00130-9).
11. Kirpichnikov, P.A., Zenitova, L.A., Bakirova, I.N. (1999). Theory and practice of polyurethanes. Chemistry and computer modeling. *Butlerov communications*, (1), 57-60. (In Russ.).
12. Grassie, N., Zulfiqar, M., Guy, M.I. (1980). Thermal degradation of a series of polyester polyurethanes. *Journal of Polymer Science: Polymer Chemistry Edition*, 18(1), 265-274. <https://doi.org/10.1002/pol.1980.170180125>.
13. Mathur, G.N., Kresta, J.E. (1984). *Thermooxidation and stabilization of urethane and urethane-urea block copolymers* Polymer Additives. Boston : Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-2797-4_12.
14. Tcharkhtchi, A., Farzaneh, S., Abdallah-Elhirsiti, S., Esmaeilou, B., Nony, F., Baron, A. (2014). Thermal aging effect on mechanical properties of polyurethane. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, 19, 571-584. <https://doi.org/10.1080/1023666X.2014.932644>.
15. Gurov, D.S., Novotochinova, E.A., Odintsov, Yu.T., Zinoviev, V.M., Eryshkanov, S.V. (2015). Forecast of changes in mechanical characteristics of polyurethane by accelerated thermal testing. *Aerospace engineering, high technology and innovation*. 2015, 1, 208-212. (In Russ.).
16. Tereshatov, V.V., Slobodinyuk, A.I., Makarova, M.A., Pinchuk, A.V., Senichev, V.Yu. (2016). Characteristics of Polyether Urethanes with Mixed Soft Segments, Prepared by Two- and Three-Step Procedures. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 89, 943-948. <https://doi.org/10.1134/S1070427216060161>.
17. Polymer materials. Methods of accelerated testing for climatic aging. (1982). GOST 9.707-81. Moscow : State Committee of the USSR for Standards. (In Russ.).
18. Zellers, E.T., Anna, D.H., Sulewski, R., Xiaorong, W.E. (1996). Critical Analysis of the Graphical Determination of Hansen's Solubility Parameters for Lightly Crosslinked Polymers. *Journal of Applied Polymer Science*, 62, 2069-2080. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\) 1097-4628\(19961219\)62:12<2069::AID-APP10>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/(SICI) 1097-4628(19961219)62:12<2069::AID-APP10>3.0.CO;2-1).
19. Ning, L., De-Ning, W., Sheng-Kang, Y. (1997). Hydrogen-Bonding Properties of Segmented Polyether Poly(urethane urea) Copolymer. *Macromolecules*, 30, 4405-4409. <https://doi.org/10.1021/ma951386e>.
20. Lipatov, Yu.S., Nesterov, A.E., Hrytsenko, T.M., Veselovsky, R.A. (1971). *Handbook of polymer chemistry*. Kyiv : Naukova dumka. (In Russ.).
21. Tereshatova, E.N., Tereshatov, V.V., Begishev, V.P., Makarova, M.A. (1992). On the choice of solvents for determining the parameters of the network of segmented polyurethanes. *Vysokomolekulyarnye Soedineniya*, 34(8), 22-26. (In Russ.).
22. Tereshatov, V.V., Tereshatova, E.N., Volkova, E.R. (1995). Two types of physical network in cross-linked segmented polyurethanes. *Vysokomolekulyarnye Soedineniya*, 37(11), 1881-1887. (In Russ.).
23. Hong, S., Park, N., Ju, S., Lee, A., Shin, Y., Kim, J.S., Um, M.-K., Yi, J.W., Chae, H.G., Park, T. (2023). Molecular degradation mechanism of segmented polyurethane and life prediction through accelerated aging test. *Polymer Testing*. 124. Article 108086. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2023.108086>.
24. Microclimatic regions of the globe with tropical climate. Zoning and statistical parameters of climatic factors for technical purposes. (1981). GOST 24482-80. Moscow : State Committee of the USSR for Standards. (In Russ.).
25. Machines. Devices and other technical products. Designs for different climatic regions, categories, operating conditions, storage and transportation in terms of exposure to climatic factors of the external environment (1989). GOST 15150-69. Moscow : State Committee of the USSR for Standards. (In Russ.).

Information about the authors

V.N. Strel'nikov - doctor of Technical Sciences, professor, corresponding member of the RAS, director of the «Institute of technical chemistry UrB RAS».

A.I. Gladyshev - doctor of Technical Sciences, associate professor, professor of the Department of Information Technologies and Natural Sciences of the Autonomous Higher Education Non-profit Organization "Russian New University" (Moscow).

M.V. Perepada - postgraduate student of the «Institute of technical chemistry UrB RAS» S.V. Eryshkanov, Ph. D., senior researcher of the Joint Stock Company «Research institute of polymeric materials» (Perm).

V.Yu. Senichev - Ph.D., head of the laboratory of polymer materials, «Institute of technical chemistry UrB RAS» (Perm).

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

Статья поступила в редакцию 18 ноября 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 18 Nov 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.



Научная статья

2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)

УДК 621.929.2/.9

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.029



ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ АНТРАЦИТА С ПОМОЩЬЮ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ АППАРАТОВ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Дмитрий Викторович Сухоруков ¹, Сергей Анатольевич Ратников ²,
Алексей Анатольевич Андришков ³

^{1,2} ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», Кемерово, Россия

³ ФГБОУ ВО «Кузбасский технический университет им. Т.Ф. Горбачева», Кемерово, Россия

¹ pioneer_dias@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7995-3813>

² serat7752@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5668-7663>

³ aaa.ephnt@kuzstu.ru, <https://orcid.org/0009-0009-0575-5916>

Аннотация. Переработка угля и отходов угольной промышленности является актуальной научной задачей. Задействованное оборудование на предприятиях устаревает, его необходимо своевременно заменять и модернизировать. С целью определения возможности использования центробежного оборудования было проведено исследование влияния свойств различных материалов, подвергающихся дальнейшей переработке, на эффективность их использования и взаимодействие с технологическим оборудованием. В данном случае рассматривается влияние свойств угольной крошки антрацита на процесс переработки и дальнейшего его использования. Исследование этих процессов важно для обеспечения эффективного использования ресурсов, оборудования и снижения негативного воздействия на окружающую среду. Поставлены и решены четыре задачи. В результате работы были получены графические зависимости влажности антрацита от его насыпной плотности, от коэффициента его внешнего трения, от критерия сыпучести, от критерия мощности, а также график зависимости критерия сыпучести от критерия мощности. Анализируя полученные данные, можно дать рекомендации по содержанию влаги в крошки антрацита, она должна быть в диапазоне от 8 % до 13 %, при более низкой влажности начинается пыление материала, а при более высокой материал начинает проявлять адгезионные свойства к поверхности оборудования. Насыпная плотность должна быть в диапазоне $\rho = 630 \dots 820 \text{ кг/м}^3$. Также даны рекомендации по техническим параметрам оборудования. В заключении сделан вывод о том, что данный тип оборудования можно и нужно использовать в современной технологии обработки крошки антрацита для ее обогащения с последующим брикетированием с целью снижения стоимости конечного продукта.

Ключевые слова: центробежный, конусный ротор, крошка антрацита, насыпная плотность, влажность материала, сыпучесть, пылеобразование, адгезия, переработка отходов.

Для цитирования: Сухоруков Д. В., Ратников С. А., Андришков А. А. Обоснование применения центробежных аппаратов непрерывного действия для переработки антрацита // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 170–174. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.029. EDN: <https://elibrary.ru/VBTCLQ>.

Original article

JUSTIFICATION OF POSSIBILITY OF PROCESSING ANTHRACITE USING CONTINUOUS-ACTING CENTRIFUGAL MACHINES

Dmitry V. Sukhorukov ¹, Sergey A. Ratnikov ², Alexey A. Andryushkov ³

^{1,2} Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

³ Kuzbass Technical University named after T.F. Gorbachev, Kemerovo, Russia

¹ pioneer_dias@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7995-3813>

² serat7752@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5668-7663>

³ aaa.ephnt@kuzstu.ru, <https://orcid.org/0009-0009-0575-5916>

Abstract. Processing coal and coal industry waste is an urgent scientific problem. The equipment involved in enterprises is becoming obsolete, it needs to be replaced and modernized in a timely manner. In order to determine the possibility of using centrifugal equipment, a study was conducted of the influence of the properties of various materials undergoing further processing on the efficiency of their use and interaction with process equipment. In this case, the influence of the properties of anthracite coal chips on the processing process and its further use is considered. Research into these processes is important to ensure efficient use of resources, equipment and reduce negative environmental impacts. Four tasks were set and solved. As a result of the work, graphical dependences of the moisture content of anthracite on its bulk density, on the coefficient of its external friction, on the flowability criterion, on the power criterion, as well as a graph of the dependence of the flowability criterion on the power criterion were obtained. Analyzing the data obtained, we can give recommendations on the mois-

© Сухоруков Д. В., Ратников С. А., Андришков А. А., 2025

ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ АНТРАЦИТА С ПОМОЩЬЮ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ АППАРАТОВ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

ture content of anthracite chips; it should be in the range from 8% to 13%; at lower humidity, dusting of the material begins, and at higher humidity, the material begins to exhibit adhesive properties to the surface of the equipment. Bulk density should be in the range $\rho=630...820 \text{ kg/m}^3$. Recommendations on the technical parameters of the equipment are also given. In conclusion, it was concluded that this type of equipment can and should be used in modern technology for processing anthracite chips for its enrichment with subsequent briquetting in order to reduce the cost of the finished product.

Keywords: Centrifugal, cone rotor, anthracite chips, bulk density, material moisture, flowability, dust formation, adhesion, waste processing.

For citation: Sukhorukov, D.V., Ratnikov, S.A. & Andryushkov, A.A. (2025). Justification of possibility of processing anthracite using continuous-acting centrifugal machines. Polzunovskiy vestnik, (3), 170-174. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.029. EDN: <https://elibrary.ru/VBTCLQ>.

ВВЕДЕНИЕ

Россия всегда являлась одним из основных добытчиков и поставщиков угля в мире. Отечественное угольное производство неизменно остается одной из главных отраслей российской экономики. На сегодняшний день ресурсное и энергетическое развитие отечественной экономики тесно связано с развитием угольной отрасли производства. Сегодня требуемая доля ископаемого угля, необходимого в качестве технологического топлива для электростанций, находится на отметке в 30 %.

Для обеспечения качественного функционирования угольной отрасли требуются новые технологии промышленности, включающие в свой состав современное оборудование, позволяющее обеспечивать производство угля в требуемых объемах. Существующее оборудование часто не в состоянии выполнить эту задачу. В связи с этим создание нового конструктивного оформления оборудования, модернизация и создание новых технологических линий переработки угля является важнейшей проблемой горнодобывающей и обогащательной отрасли для различных регионов страны и, в частности, Кузбасса. Ее решение во многом зависит от свойств перерабатываемых материалов. Этот фактор влияет на выбор технологического оборудования и его конструктивных материалов, на поиск рациональных режимов переработки сырья существующими машинами и аппаратами.

Необходимость исследования свойств материалов, подвергаемых дальнейшей переработке, и их влияние на эффективное использование технологического оборудования нередко возникает уже на стадии апробации или непосредственно в процессе производства продукции. Избежать этого при проектировании и разработке оборудования не всегда возможно. Более того, добиться желаемого результата с учетом множества факторов практически нереально. Таким образом, модернизация и переоснастка оборудования осуществляется на основе полученных результатов практических испытаний, с учетом теоретических аспектов рассматриваемой проблемы.

В настоящее время появляются технологии, позволяющие эффективно перерабатывать отходы производства и побочную продукцию, улучшать качество исходного сырья и полуфабрикатов путем корректировки их свойств и т.п. Например, существуют технологии переработки угольной крошки антрацита с целью получения брикетированного твердого топлива, почти не уступающего по эффективности сгорания высококачественному антрациту. Одной из проблем, возникающей при практической реализации этой технологии, является организация тонкослойного движения угольной крошки антрацита.

МЕТОДЫ

Проведенные предварительные экспериментальные исследования показали возможность применения аппаратов центробежного типа непрерывного действия [1, 7–10] для получения крошки антрацита с

заданными свойствами. Преимуществом такого оборудования является способность организовать с помощью центробежной силы внутри аппарата тонкослойное движение угольной крошки антрацита (с диаметром частиц $d_4 = 1...6 \text{ м}^{-3}$), необходимое для ее дальнейшего обогащения лазерными устройствами.

Поэтому целью данной работы является обоснование возможности применения непрерывно действующих аппаратов центробежного типа с конусным ротором для переработки угольной крошки антрацита и придания ей заданных свойств. Достижение поставленной цели осуществляется путем решения следующих задач:

- 1) определение зависимости насыпной плотности от влажности угольной крошки антрацита;
- 2) определение коэффициента внешнего трения (по алюминию) в зависимости от влажности угольной крошки антрацита;
- 3) определение зависимости частоты вращения конусного ротора, при которой происходит срыв материала с его верхней кромки, от угла конусности и диаметра нижнего основания конуса;
- 4) определение условий пылеобразования при центробежном движении угольной крошки антрацита по внутренней поверхности конуса.

РЕЗУЛЬТАТЫ

При решении первой задачи была установлена существенная зависимость влажности угольной крошки антрацита от его насыпной плотности, представленная в виде графической зависимости на рисунке 1.

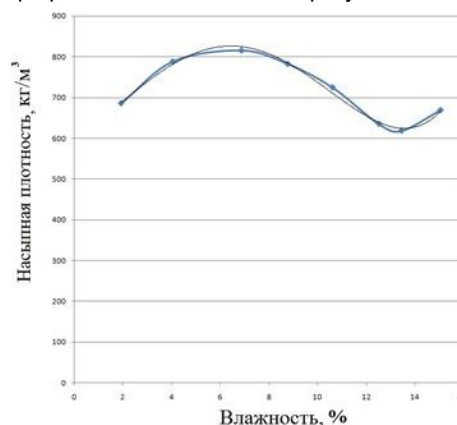


Рисунок 1 – График зависимости влажности антрацита от его насыпной плотности

Figure 1 – Graph of the dependence of anthracite moisture content on its bulk density

Полученная графическая зависимость, аппроксимированная полиномом 4-го порядка, имеет два экстремума:

$$y = 0,0762x^4 - 1,9154x^3 + 9,8687x^2 + 29,821x + 605,94. \quad (1)$$

Её анализ показывает, что при значении влажности менее 6 % жидкость в антраците является адсорбцион-

ной. Она увеличивает массу частиц, находясь в его пористой структуре, не влияя на плотность укладки частиц антрацита. Поэтому насыпная плотность возрастает до своего максимального значения $\rho_{\max} \approx 820 \text{ кг/м}^3$. Минимальный экстремум ($\rho_{\min} \approx 630 \text{ кг/м}^3$) достигается при увеличении влажности крошки антрацита до 13 %. В диапазоне влажности от 6 до 13 % часть влаги находится на поверхности частиц материала, способствуя образованию непрочных конгломератов (в основном из частиц мелкой фракции). При этом материал обладает хорошей или удовлетворительной сыпучестью, является рыхлым.

При влажности более 13 % сыпучесть угольной крошки антрацита становится плохой, наблюдается ярко выраженная адгезия между частицами, затрудняющая их перемещение по внутренней поверхности ротора центробежного смесителя. Материал приобретает «кашеобразную» структуру, величина насыпной плотности вновь повышается из-за наличия свободной влаги [5]. Поэтому применение центробежных аппаратов для переработки антрацита при влажности более 13 % становится весьма ограниченным, а при влажности свыше 15 % практически невозможным.

В результате решения второй задачи была получена графическая зависимость коэффициента внешнего трения (по алюминию) угольной крошки антрацита в зависимости от его влажности (массовой доли влаги в общей массе материала), аппроксимированная полиномом 4-го порядка:

$$y = 0,0001x^4 - 0,0029x^3 + 0,0262x^2 - 0,0844x + 0,5677. \quad (2)$$

Полученная зависимость представлена на рисунке 2.

График показывает, что при увеличении влажности до 12 % коэффициент трения возрастает с 0,48 до 0,65. Дальнейшее повышение влажности антрацитового угольной крошки приводит к значительному увеличению коэффициента трения. Когда влажность превышает 12–13 %, в материале появляется свободная влага, которая создаёт «кашеобразную» структуру антрацита. Это, как и в предыдущем исследовании, затрудняет движение частиц угольной крошки внутри аппарата.

Таблица 1 – Результаты экспериментальных исследований / Table 1 – Experimental results

№	f	d, мм	γ, град.	sin (γ/2)	cos (γ/2)	n, об/мин (расчетное)	n, об/мин (практическое)	погрешность, %
1	0,63	80	75	0,608498	0,793555	492,6471846	435	13,25222635
2	0,63	80	105	0,79307	0,60913	246,2549509	240	2,606229523
3	0,63	120	75	0,608498	0,793555	402,2447419	360	11,73465052
4	0,63	120	105	0,79307	0,60913	201,0663254	176	14,24223035
5	0,63	160	75	0,608498	0,793555	348,354165	318	9,545334903
6	0,63	160	105	0,79307	0,60913	174,1285457	162	7,486756575
7	0,56	80	75	0,608498	0,793555	393,3679688	375	4,898125015
8	0,56	80	105	0,79307	0,60913	228,4087869	204	11,96509164
9	0,56	120	75	0,608498	0,793555	321,1836016	314	2,287771203
10	0,56	120	105	0,79307	0,60913	186,4949936	168	11,00892476
11	0,56	160	75	0,608498	0,793555	278,1531582	245	13,53190132
12	0,56	160	105	0,79307	0,60913	161,5094021	150	7,672934751

$$n \geq \frac{2g(f \cdot \sin(\gamma/2) + \cos(\gamma/2))}{d(\sin(\gamma/2) - f \cdot \cos(\gamma/2))}, \quad (3)$$

где n – частота вращения конуса, рад/с; g = 9,81 – ускорение свободно падения, м/с²; f – коэффициент внешнего трения материала по поверхности конуса; d – диаметр нижнего основания конуса, м; γ – угол раскрытия конуса (угол конусности).

Решение четвертой задачи показывает, что антрацит с влажностью менее 6 % способен к сильному запылению, при срыве с верхней кромки ротора центробежного смесителя, даже при его минимально допустимом вращении. Увеличение влажности материала приводит к снижению его пылеобразования. При достиже-

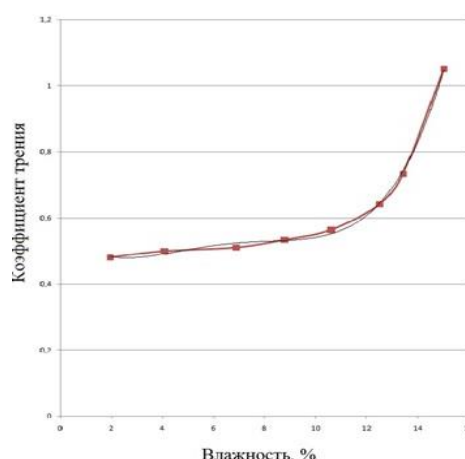


Рисунок 2 – График зависимости влажности антрацита от коэффициента его внешнего трения (по алюминию)

Figure 2 – Dependency graph moisture content of anthracite on the coefficient of its external friction (for aluminum)

Третья задача направлена на исследование поведения материала на поверхности вращающегося конусного ротора. Ее решение показывает, что частота вращения, при которой происходит срыв материала с верхней кромки рабочего органа, может быть определена на основании теоретических выкладок [1] и предложенного нами неравенства, которое подтверждается практическими и расчетными результатами, средняя погрешность между которыми не превышала 10 % (табл. 1).

Теоретические и практические результаты показывают [1, 4, 6], что для стабильного движения материала по поверхности вращающегося конусного ротора его угол конусности должен находиться в диапазоне 70...110 ° [1, 7], диаметр нижнего основания конуса рекомендуется принимать более 0,06 м, а частоту вращения конуса выбирать в 1,5 и более раза выше, чем критическое значение, определяемое с помощью неравенства (1).

нии влажности более 8 % наблюдается полное отсутствие пыли при осевой составляющей скорости воздушных потоков [2], находящейся в диапазоне 1,3...5 м/с.

Для изучения движения угольной крошки антрацита на внутренней поверхности ротора в зависимости от влажности, под действием инерционных сил, применили предложенный нами критерий сыпучести Si на основании теоретических выкладок [3].

$$Si = \frac{Q}{\rho \times d_k \times n}, \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \times \text{с}} \right], \quad (4)$$

где Q – сыпучесть материалов, кг/(м²×с); ρ – плотность частиц материала, кг/м³; d_k – средний диаметр конуса ротора, по которому осуществляется движе-

ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ АНТРАЦИТА С ПОМОЩЬЮ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ АППАРАТОВ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

ние частиц, м; n – частота вращения ротора, с^{-1} .

Критерий сыпучести Si позволяет охарактеризовать отношение сыпучести материала к силам инерции в его тонкослойном потоке. В результате проведенных исследований была получена графическая зависимость Si от влажности, аппроксимированная полиномом 5-го порядка:

$$y = 0,000002x^5 - 0,0012x^4 + 0,0242x^3 - 0,1903x^2 + 0,6982x - 0,5386. \quad (5)$$

Зависимость представлена на рисунке 3.

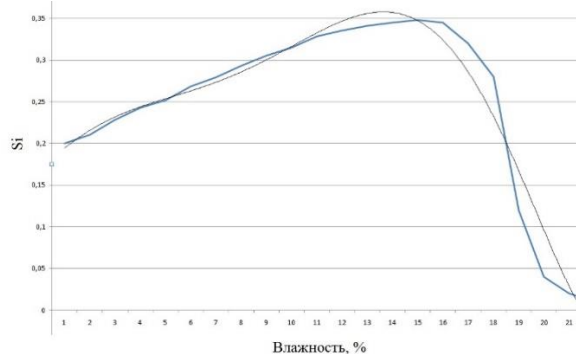


Рисунок 3 – График зависимости влажности антрацита от критерия сыпучести

Figure 3 – Graph of the dependence of anthracite moisture content on the flowability criterion

На графике можно заметить, что адгезионная способность антрацита усиливается с увеличением влажности сырья: в диапазоне от 0 до 13 % его частицы практически не прилипают друг к другу, угольная крошка хорошо скользит по внутренней поверхности ротора, избегая сил трения, и может относиться к разряду хорошо сыпучих компонентов. В данном диапазоне влажности Si положительно влияет на качество получаемого продукта и изменяется в пределах: 0,2...0,35. Увеличение влажности (более 13 %) приводит к налипанию на различные материалы, из которых может быть изготовлена рабочая камера и рабочий орган аппарата (стекло, алюминий и т.д.), особенно при условии принудительного механического воз-

действия. Адгезионные свойства материала становятся явно выраженными при влажности более 15 % (Si от 0,02 до 0,006), приводящие к негативному влиянию на качество получаемого антрацита.

Дальнейшие исследования были направлены на то, чтобы оценить отношение затрачиваемой мощности при перемещении крошки антрацита с различной влажностью к силам инерции, возникающим внутри аппарата, при помощи критерия мощности K_N :

$$K_N = \frac{N}{\rho \times n^3 \times d_k^5}, \quad (6)$$

где N – полезная мощность, затрачиваемая на смешивание сыпучих материалов, Вт; ρ – плотность частиц материала, кг/м^3 ; d_k – средний диаметр конуса ротора, по которому осуществляется движение частиц, м; n – частота вращения ротора, с^{-1} .

Полученные результаты аппроксимированы полиномом 5-го порядка и представлены на рис. 4 в виде графической зависимости влажности крошки антрацита от критерия мощности:

$$y = 0,00022x^5 - 0,0614x^4 + 0,0421x^3 - 0,0953x^2 + 0,0062x - 0,8345. \quad (7)$$

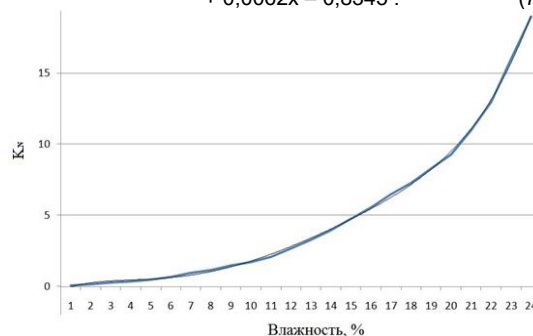


Рисунок 4 – График зависимости влажности антрацита от критерия мощности

Figure 4 – Graph of the dependence of anthracite moisture on the power criterion

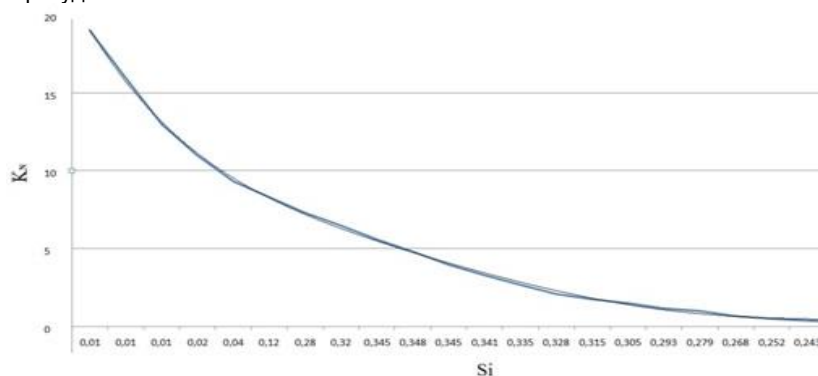


Рисунок 5 – График зависимости критерия сыпучести от критерия мощности

Figure 5 – Graph of the dependence of the flowability criterion

Минимальное значение критерия мощности аппарата $K_N = 0,1..0,42$ достигается при влажности в диапазоне 0...13 %. Дальнейшее увеличение влаги в крошке антрацита (от 13 % и выше) приводит к резкому увеличению критерия мощности практически в 9 раз ($K_N = 4...16$). Следовательно, затрачиваемая мощность на перемещение крошки антрацита сильно зависит от его влажности и прямо пропорциональна K_N . Кривая зависимости критерия сыпучести от критерия мощности представлена на рисунке 5.

Из графика видно, что с увеличением сыпучести материала снижается критерий мощности. На основании вышеприведенных экспериментальных исследований можем сделать вывод, что мощность, затрачиваемая на перемещение крошки антрацита, находится в прямо пропорциональной зависимости от ее влажности.

Увеличение влажности приводит к снижению сыпучести и образованию конгломератов, как следствие, к возрастанию затрачиваемой мощности и удорожанию всего процесса.

ВЫВОДЫ

Решая поставленные задачи, можем заключить, что использование непрерывно действующих центробежных аппаратов с конусным ротором, обеспечивающих непрерывное движение, является эффективным способом создания тонкого слоя крошки антрацита. При следующих характеристиках: насыпной плотности крошки антрацита $\rho = 630...820 \text{ кг/м}^3$, угле конусности $70...110^\circ$, диаметре нижнего основания конуса $0,06...0,1 \text{ м}$, частоте вращения ротора $n = 450...600 \text{ об/мин}$, влажность крошки антрацита находится в диапазоне от 6 % до 15 %. При этом потребляемая мощность двигателя аппарата находится в пределах $N = 0,37...0,41 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^3$. Однако для наилучшего дальнейшего обогащения крошки антрацита лазерными лучами рекомендуемые величины влажности должны находиться в диапазоне от 8 до 13 %. В этих условиях исключено пылеобразование и отсутствие явного проявления адгезионных свойств.

Все это позволяет с применением лазерной обработки и новейших технологий получить обогащенные мелкие частицы угля, с последующим их прессованием и брикетированием, с заданными свойствами по более низкой закупочной цене по отношению к кусковому углю.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бородулин Д.М. Исследование взаимосвязи критерия сыпучести с динамическими и энергетическими характеристиками в объеме смесителя непрерывного действия // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2013. № 5–6. С. 74–78.
2. Иванец В.Н. Исследование направления и скорости воздушных потоков в рабочей камере центробежного смесителя // Техника и технология пищевых производств. 2013. № 1. С. 75–80.
3. Разработка и исследование центробежного смесителя непрерывного действия для получения смесей для спортивного питания / В.Н. Иванец [и др.] // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2015. № 1. С. 48–55.
4. Borodulin D.M., Sukhorukov D.V. Comparing efficiency of two centrifugal mixers producing dry combined mixtures. Science, Technology and Higher Education, Materials of the III international research and practice conference. Westwood, Canada. 2013. P. 398–405.
5. Borodulin D.M. & Sukhorukov D.V. & Komarov S.S. Investigation of dynamic characteristics flowability. European Science and Technology, Materials of the IV international research and practice conference Vol. I. Munich, Germany. 2013. P. 146–150.
6. Borodulin D.M., Sukhorukov D.V., Komarov S.S. Research flowability of food materials. Science, Technology and Higher Education, Materials of the II international research and practice conference Vol. II, Westwood, Canada. 2013. P. 101–106.
7. Borodulin D.M., Bakin I.A., Sukhorukov, D.V., Ratnikov, S.A. (2020). Simulation of mixing process in drum mixer with different topology of material flows. International scientific and practical conference "Agro-SMART – Smart solutions for agriculture".
8. Центробежный смеситель : пат. 2496561 Рос. Федерация № 2012125453/05 : заявл. 19.06.2012; опубл. 27.10.2013.
9. Центробежный смеситель диспергатор: пат. 2464078 Рос. Федерация № 2011119845/05: заявл. 17.05.2011; опубл. 20.10.2012.
10. Исследование работы смесительного агрегата, состоящего из двух последовательно установленных центробежных СНД, для получения смеси с соотношением смешиваемых компонентов 1:1000 методом последовательного разбавления / Д.М. Бородулин [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2013. № 5(80). С. 210–217.

Информация об авторах

Д. В. Сухоруков – кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерного дизайна» Кемеровского государственного университета.

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

Статья поступила в редакцию 18 ноября 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 18 Nov 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.

С. А. Ратников – кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерного дизайна» Кемеровского государственного университета.

А. А. Андрюшков – кандидат технических наук, доцент кафедры «Энергоресурсосберегающих процессов в химической и нефтегазовой технологиях» Кузбасского государственного технического университета им. Т.Ф. Горбачева.

REFERENCES

1. Borodulin, D.M., Sukhorukov, D.V. & Komarov, S.S. (2013). Investigation of the relationship of the flowability criterion with dynamic and energy characteristics in the volume of a continuous mixer. News of higher educational institutions. Food technology, (5-6), 74-78. (In Russ.).
2. Ivanets, V.N., Borodulin, D.M. & Sukhorukov, D.V. (2013). Investigation of the direction and velocity of air flows in the working chamber of a centrifugal mixer. Technique and technology of food production, (1), 75-80. (In Russ.).
3. Ivanets, V.N., Borodulin, D.M., Sukhorukov, D.V. & Chechko, S.G. (2015). Development and research of a continuous centrifugal mixer for the production of mixtures for sports nutrition. Scientific journal of the ITMO Research Institute. Series: Processes and devices of food production, (1), 48-55. (In Russ.).
4. Borodulin, D.M. & Sukhorukov, D.V. (2013). Comparing efficiency of two centrifugal mixers producing dry combined mixtures. Science, Technology and Higher Education, Materials of the III international research and practice conference. Westwood, Canada. 2013. P. 398-405.
5. Borodulin, D.M., Sukhorukov, D.V. & Komarov, S.S. (2013). Investigation of dynamic characteristics flowability. European Science and Technology, Materials of the IV international research and practice conference Vol. I. Munich, Germany. 2013. P. 146-150.
6. Borodulin, D.M., Sukhorukov, D.V. & Komarov, S.S. (2013). Research flowability of food materials. Science, Technology and Higher Education, Materials of the II international research and practice conference Vol. II, Westwood, Canada. 2013. P. 101-106.
7. Borodulin, D.M., Bakin, I.A., Sukhorukov, D.V. & Ratnikov, S.A. (2020). Simulation of mixing process in drum mixer with different topology of material flows. International scientific and practical conference "Agro-SMART – Smart solutions for agriculture".
8. Borodulin, D.M., Andryushkov, A.A. & Voitkova, L.A. (2013). Centrifugal mixer. Pat. 2496561 Russian Federation, published on 27.10.2013. (In Russ.).
9. Ivanets, V.N., Borodulin, D.M. & Andryushkov, A.A. (2012). Centrifugal mixer disperser. Pat. 2464078 Russian Federation, published on 20.10.2012. (In Russ.).
10. Borodulin, D.M., Sablinsky, A.I., Sukhorukov, D.V. & Andryushkov, A.A. (2013). Investigation of the operation of a mixing unit consisting of two sequentially installed centrifugal pumps for producing a mixture with a ratio of miscible components 1:1000 by sequential dilution. Bulletin of the KrasGAU, (5(80)), 210-217. (In Russ.).

Information about the authors

D.V. Sukhorukov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of "Engineering Design" of Kemerovo State University.

S.A. Ratnikov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of "Engineering Design" of Kemerovo State University.

A.A. Andryushkov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of "Energy-saving Processes in Chemical and Oil and Gas Technologies" Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev.



Научная статья

2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (технические науки)
УДК 661.741.121

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.030



АНАЛИЗ СОСТАВА ФРАКЦИЙ ПИРОЛИЗНОЙ ЖИДКОСТИ РАСТИТЕЛЬНОЙ БИОМАССЫ

Айгуль Раисовна Валеева

Казанский национальный исследовательский технологический университет, кафедра «ХТД» Казань, Россия,
A8695V@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8656-7643>

Аннотация. В статье представлены результаты исследования многокомпонентного состава жидкого продукта переработки древесных отходов методом пиролиза (бионефти). На основе данных газовой хроматографии авторы выявили, что жидкий продукт пиролиза (ПЖ) содержит множество соединений, включая воду и кислоты, среди которых уксусная кислота является доминирующей. В статье описан процесс разделения бионефти, состоящий из трех этапов. Сырьем для пиролиза служили древесные отходы разных пород деревьев. Выход жидкого продукта составил 54 %, из которых 85 % – водорастворимая фракция, 15 % – водонерастворимая фракция. Этапы фракционирования состояли из вакуумной перегонки, водной экстракции и экстракции *n*-гексаном. В работе описаны условия проведения всех этапов разделения. У каждой из полученных фракций был определен химический состав. Установлено, что в процессе дистилляции в конденсат, помимо воды, переходит основная часть уксусной кислоты. Дальнейшая водная экстракция позволяет выделять водорастворимые углеводные соединения, среди которых особое внимание уделяется *D*-аллозе, обладающей ингибирующим действием на некоторые злокачественные образования и применяемой как низкокалорийный подсластитель. Третий этап исследования, использующий *n*-гексан в качестве неполярного органического растворителя, привёл к обнаружению ранее не описанных высокомолекулярных соединений, таких как стигмаст-5-ен-3-ол, сквален и фенантреновое соединение. В результате исследований установлено наличие в бионефти значительного количества веществ группы фенолов, при этом фракционирование приводит к уменьшению доли кислых и высокомолекулярных конденсированных соединений в исходной бионефти, что повышает возможность использования ее в качестве фенолозамещающего и топливного сырья.

Ключевые слова: бионефть; быстрый пиролиз; древесные отходы; дистилляция бионефти, экстракция бионефти.

Благодарности: автор выражает благодарность Грачеву Андрею Николаевичу и Забелкину Сергею Андреевичу за руководство и помощь в проведении исследовательской работы.

Финансирование: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-73-10097, <https://rscf.ru/project/22-73-10097/>.

Для цитирования: Валеева А. Р. Анализ состава фракций пиролизной жидкости растительной биомассы // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 175–180. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.030. EDN: <https://elibrary.ru/VREEAJ>.

Original article

ANALYSIS COMPOSITION FRACTIONS PYROLYSIS LIQUID PLANT BIOMASS

Aigul R. Valeeva

Kazan National Research Technological University, Department Wood Chemical Technology, Kazan, Russia,
A8695V@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8656-7643>

Abstract. The article presents the results of a study on the multi-component composition of the liquid product derived from the pyrolysis of wood waste (bio-oil). Based on gas chromatography data, the authors found that the pyrolysis liquid product (PLP) contains a multitude of compounds, including water and acids, with acetic acid being the predominant one. The article describes the bio-oil separation process, which consists of three stages. The feedstock for pyrolysis was wood waste from various tree species. The yield of the liquid product was 54%, of which 85% is the water-soluble fraction and 15% is the water-insoluble fraction. Fractionation stages included vacuum distillation, water extraction, and *n*-hexane extraction. The conditions for conducting all separation stages are described. The chemical composition of each obtained fraction was determined. It was established that during distillation, the main portion of acetic acid, along with water, transitions to the condensate. Further water extraction allows for the isolation of water-soluble organic compounds, with special attention given to *D*-allulose, which exhibits inhibitory effects on certain malignant formations and is used as a low-calorie sweetener. The third stage of the study, utilizing *n*-hexane as a non-polar organic solvent, led to the discovery of previously unreported high-molecular compounds, such as stigmaterol, squalene, and phenanthrene compounds. As a result of the research, a significant amount of phenolic compounds was found in the bio-oil, while fractionation decreased the proportion of acidic and high-molecular condensed compounds in the raw bio-oil, thereby enhancing its potential use as a phenol-replacing and fuel raw material.

Keywords: bio-oil; fast pyrolysis; wood waste; bio-oil distillation, bio-oil extraction.

Financial: The research was carried out under a Russian Science Foundation grant No. 22-73-10097, <https://rscf.ru/project/22-73-10097/>.

For citation: Valeeva, A.R. (2025). Analysis composition fractions pyrolysis liquid plant biomass. Polzunovskiy vestnik, (3), 175-180. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.030. EDN: <https://elibrary.ru/VREEAJ>.

ВВЕДЕНИЕ

Энергетический кризис становится все более серьезной глобальной проблемой. В связи с тенденцией к увеличению спроса на энергию, зависимость от ископаемого топлива возрастает. Однако использование ископаемого топлива приводит к значительным выбросам парниковых газов. Принятое в 2015 г. Парижское соглашение по климату ставит в качестве одной из основных целей замедление глобального потепления. В рамках данной цели требуется сократить объемы выбросов углекислого газа, метана и оксида азота, основным источником которых являются процессы сжигания нефти, угля и газа [1]. Лигноцеллюлозные материалы составляют основную часть легкодоступного природного топлива. Поскольку термохимический процесс пиролиза растительной биомассы считается углеродно-нейтральным, исследования в данной области являются актуальными [2]. Лигноцеллюлозная биомасса является удобным источником для производства ценных углеводородов из бионефти [3].

Пиролиз основных компонентов биомассы (целлюлозы, гемицеллюлозы, лигнина) и второстепенных компонентов (экстрактивных веществ и неорганических материалов) протекает в виде серии сложных, параллельных и последовательных реакций. В результате образуется жидкость, включающая в себя множество разнообразных веществ [4]. При нагревании целлюлозы до 300–500 °C происходит процесс деполимеризации до ангидрогликозных звеньев [5]. При пиролизе целлюлозы получают смолу, содержащую различные количества 1,6-ангидро- β -D-глюкопиранозы, 1,6-ангидро- β -D-глюкофуранозы, α - и β -D-глюкозы, 3-дезоксид- β -D-эритро-гексосулозы, олиго- и полисахаридов, а также некоторых продуктов дегидратации.

Современные технологии добычи газа и нефти привели к резкому снижению ценности целлюлозосодержащих веществ в качестве топлива, но наблюдается значительное увеличение их применения в качестве промышленных и строительных материалов. Развитие деревообрабатывающей промышленности приводит к увеличению древесных отходов. В связи с этим все больше акцент смещается на проблемы глубокой переработки данного вида отходов [6]. Считается, что разработки в области процессов быстрого пиролиза биомассы и другого углеродсодержащего сырья могут дать значительные продвижения в данном вопросе [7]. Однако в сравнении с традиционными видами топлива свойства жидкого продукта быстрого пиролиза древесных отходов существенно отличаются. В качестве транспортного топлива бионефть непригодна без доработки из-за высокого содержания воды и, как следствие, низкой энергетической составляющей. Отрицательными свойствами также являются значительное содержание кислот и плохая стабильность при хранении.

Вследствие того, что древесная пиролизная жидкость (ПЖ) представляет собой смесь различных групп соединений, осложняются и процессы каталитической обработки, так как для каждой группы соединений требуются разные условия и катализаторы. Следовательно, предварительное фракционирование бионефти перед модернизацией может быть более эффективным способом получения жидкого топлива из растительного сырья.

Если говорить о технологических решениях сбора пиролизной жидкости, то группой ученых проводилось сравнение двух концепций разделения, основанных на регулировании температуры скруббера (с 36 до 66 °C) и влажности исходного сырья. Повышение температуры скруббера привело к снижению содержания воды в ПЖ, может позволить снизить затраты на предварительную сушку сырья. От-

мечается, что несмотря на снижение влажности, после конденсации происходит разделение фаз ПЖ на водорастворимую и водонерастворимую. Авторы работы приходят к выводу, что фракционирование путем разделения фаз является лучшей концепцией, если целью является производство транспортного топлива из бионефти [8].

Были также исследованы технологии крекинга и риформинга для повышения качества бионефти, такие как каталитическое гидродеоксигенирование [9, 10], каталитический крекинг [11], паровой риформинг [12] и так далее. Исследования данного направления часто указывали на высокую реакционную способность и стабильность работы катализатора при преобразовании карбоновых кислот и кетонов, в то время как фенолы трудно конвертируются. Эффективное превращение фенолов часто требовало жестких условий реакции, таких как гидродеоксигенирование под высоким давлением водорода [13], что приводило к дезактивации катализатора и удорожанию технологического процесса.

Дистилляция и экстракция растворителем являются распространенными технологиями выделения и фракционирования. Из-за термической и химической нестабильности ПЖ, а также высокого содержания в нем соединений с высокой температурой кипения традиционная дистилляция имеет низкий выход дистиллята, а остаток подвержен коксованию. Ван и др. исследовали процесс молекулярной дистилляции [14]. Согласно полученным данным, был сделан вывод, что данный метод привел к высокому выходу дистиллята без коксования, а полученные фракции были успешно модернизированы для получения более качественного топлива.

Экстракция растворителями также может рассматриваться как метод выделения компонентов бионефти. Водная экстракция позволяет разделить бионефть на водорастворимую и нерастворимую фазы для их дальнейшей разделенной обработки [15]. Водорастворимая фаза преимущественно состоит из низкомолекулярных кислот и кетонов с высокой реакционной способностью. Водонерастворимая фаза имеет более сложный состав, в основном состоящий из продуктов, полученных разложением лигнина, таких как фенол, гваякол и сирингол, а также фенольные олигомеры. Водорастворимую фазу улучшают путем каталитического крекинга и парового риформинга, а водонерастворимую фазу можно использовать для дальнейшего извлечения монофенолов и пиролизного лигнина. Монофенолы могут быть преобразованы в углеводороды путем гидродеоксигенирования, в то время как пиролизный лигнин может быть расщеплен до монофенолов и последовательно модернизирован или использован для синтеза фенольных смол [16]. Проводилось исследование многоступенчатого отделения монофенолов и пиролизного лигнина от водонерастворимой фазы с использованием растворов кислоты, щелочи и органических растворителей [17].

Стоит отметить, что ни одна технология модернизации не может обеспечить эффективную конверсию всех компонентов из-за сложности состава бионефти, и для решения данного вопроса требуется комплексный многостадийный процесс.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

В качестве растительного сырья для получения бионефти использовались древесные отходы преимущественно лиственных пород. Жидкий продукт пиролиза (ПЖ) был получен на установке FPP 02 компании ООО «Энерголеспром» [18]. Сырье предварительно подвергалось процессу измельчения и сушки до влажности около 10 %. Измельчение и сортировка проводились для отбора фракции с линейными размерами древесной щепы 5–20 мм.

АНАЛИЗ СОСТАВА ФРАКЦИЙ ПИРОЛИЗНОЙ ЖИДКОСТИ РАСТИТЕЛЬНОЙ БИОМАССЫ

Для исследования в лабораторию бионефть поступила уже в разделенном на фазы виде, для дальнейших манипуляций была составлена суммарная пиролизная жидкость в соответствии с выходом каждой фракции. Водорастворимая (верхняя) часть составляет 85 %, водонерастворимая (нижняя, смолистая) часть –15%.

Основываясь на проведенных ранее [19–20] исследованиях, была принята схема фракционирования, состоящая из трех стадий: вакуумной перегонки, водной экстракции и экстракции органическим растворителем (рис. 1).

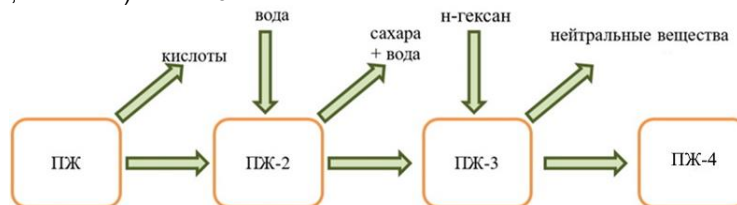


Рисунок 1 – Схема фракционирования жидких продуктов пиролиза древесных отходов
Figure 1 – Fractionation scheme of liquid pyrolysis products of wood waste

Первый этап – дистилляция суммарной ПЖ – осуществлялся при помощи ротационного испарителя ИКАНВ 10 в условиях пониженного давления (1,9 кПа) при температуре 80 °С. На данном этапе образуются две фракции: конденсат (древесный уксус) и кубовый остаток (ПЖ-2). Конденсат анализировался, фракция ПЖ-2 подвергалась дальнейшему разделению.

Второй этап фракционирования заключался в проведении процесса экстракции горячей водой кубового остатка вакуумной перегонки. Для этого фракция ПЖ-2 смешивалась с горячей водой в соотношении 1:1, интенсивно перемешивалась в течение 10 мин. Разделение смеси происходило после отстаивания в течение 12 ч. При отстаивании смесь разделялась на две фазы. Нижняя фракция, более густая, получила название ПЖ-3 согласно схеме на рисунке 1. Верхняя водная фракция с растворенными в ней углеводными компонентами пиролизной жидкости, являющаяся в данной схеме боковой, была отобрана для анализа.

Третьим этапом фракционирования является экстракция фракции ПЖ-3 органическим растворителем в соотношении 1:1. В качестве растворителя был выбран н-гексан ввиду доступности и относительной

безопасности. Рабочая фракция перемешивалась с растворителем в течение 60 минут при температуре 30–40 °С. При перемешивании происходит изменение цвета растворителя из прозрачного белого в прозрачный оранжевый. Далее смесь заливается в делительную воронку для отстаивания на 3 часа. Смесь в колбе четко разделяется на 2 фазы.

Влажность определялась методом кулонометрического титрования с помощью титратора Карла-Фишера.

Значение высшей теплоты сгорания было получено на колориметре IKA-calorimeter system мод. C 5003 control.

В ходе работы определялся химический состав фракций с помощью газовой хроматографии – массовой спектрометрии на приборе GCMS-QP2010 фирмы «Shimadzu» на колонке HP-1 MS.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные жидкие продукты пиролиза древесных отходов представляют собой двухфазную темную жидкость с резким запахом копчения, свойства двух фаз были проанализированы отдельно и представлены в таблице 1.

Содержание различных классов химических соединений в летучей части верхней и нижней фаз жидких продуктов представлено в таблице 2.

Таблица 1 – Свойства фаз жидкого продукта пиролиза древесных отходов

Table 1 – Properties of phases of the liquid pyrolysis product of wood waste

Свойства	Водорастворимая фаза	Водонерастворимая фаза
Влажность, %	54	11
Высшая теплота сгорания, кДж/кг	–	26459
Плотность, кг/м ³	1112	1145
pH	2,28	3,24

Таблица 2 – Химический состав верхней и нижней фазы жидких продуктов пиролиза лесосечных отходов

Table 2 – Chemical composition of the upper and lower phases of liquid pyrolysis products of logging waste

Класс соединений	Водорастворимая фаза	Водонерастворимая фаза
Альдегиды	1,74	0,52
Ангидросахара	–	20,63
Гетероциклические соединения	3,07	2,66
Кетоны	6,95	8,1
Карбоновые кислоты	1,09	31,98
Спирты	1,36	3,74
Фенолы	65,86	12,63
Не идентифицировано	19,93	19,74

Анализ фракции, выделенной в ходе вакуумной дистилляции

Первый этап фракционирования позволяет выделить значительную часть уксусной кислоты в конденсат. Выход конденсата составляет в среднем 54 %, кубового остатка (ПЖ-2) – 42 %.

У образцов ПЖ-2 и конденсата были определены влажность и pH, данные анализов представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Свойства фракций, полученных в ходе вакуумной разгонки ПЖ

Table 3 – Properties of fractions obtained during the vacuum distillation of pancreas

	Остаток разгонки (ПЖ-2)	Конденсат
Влажность, %	1,85	84,56
pH	2,97	2,05

Как видно из полученных данных, конденсат имеет высокое значение влажности, в связи с чем для анализа химического состава была отобрана

органическая часть путем её экстрагирования диэтиловым эфиром. На рисунке 2 представлен результат исследования химического состава органической части конденсата вакуумной разгонки ПЖ. Анализ подтвердил наличие значительного количества уксусной кислоты (58,68 % от органической части).

Помимо этого, установлено наличие фурфурола и части фенолов из пиролизной жидкости, представленными такими веществами, как гваякол и соединения метоксифенола [21].

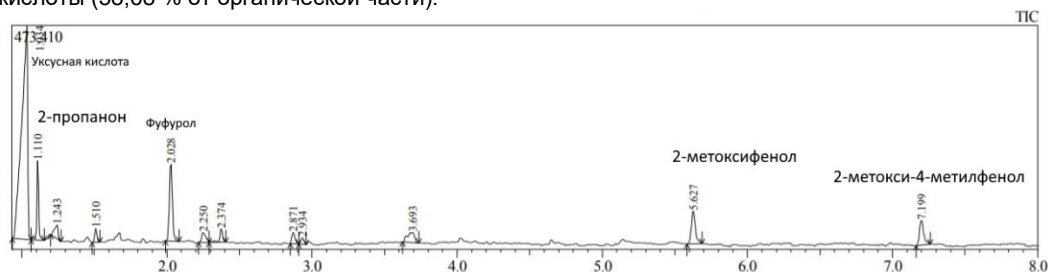


Рисунок 2 – ГХ-МС конденсата вакуумной разгонки ПЖ

Figure 2 – GC-MS of the condensate of the vacuum distillation of the pancreas

Анализ фракции водной экстракции

В ходе экстракции были получены водный экстракт (верхняя фракция) и рафинат (ПЖ-3). Свойства и выходы фракций представлены в таблицах 4 и 5.

Таблица 4 – Свойства фракций водной экстракции
Table 4 – Properties of water extraction fractions

	Экстракт	Рафинат ПЖ-3
Влажность, %	62,03	12,25
pH	3,11	3,64

Таблица 5 – Материальный баланс водной экстракции ПЖ-2 / Table 5 – Material balance of aqueous extraction of PJ-2

Продукт	Выход от массы ПЖ-2, %	Выход от массы исходной ПЖ, %
Рафинат (ПЖ-3)	34–38	14–15
Экстракт	144–147	70–73
Потери	15–22	12–16

Для анализа ГХ-МС экстракт предварительно высушивался до постоянной массы для получения сухого остатка. После сухой остаток растворялся в ацетоне. Анализ экстракта методами газовой хроматографии и масс-спектрометрии показал, что экстракт содержит значительное количество углеводов в виде 3,4-ангидро-Д-галактозана – 4,47 %, 2,3-ангидро-Д-

маннозана – 11,45 %, Д-аллозы- 50,28 % (рис. 3). Также в экстракте присутствуют 2,5-бис (1,1-диметилэтил)-фенол – 1,25 %, 3-ацетат, метил-бета-д-рибопираноза – 8,32 %. Содержание веществ представлено по отношению к сухому остатку водного экстракта. фазы) и кетонами (22,4 %) с примесями кислот и углеводов [21].

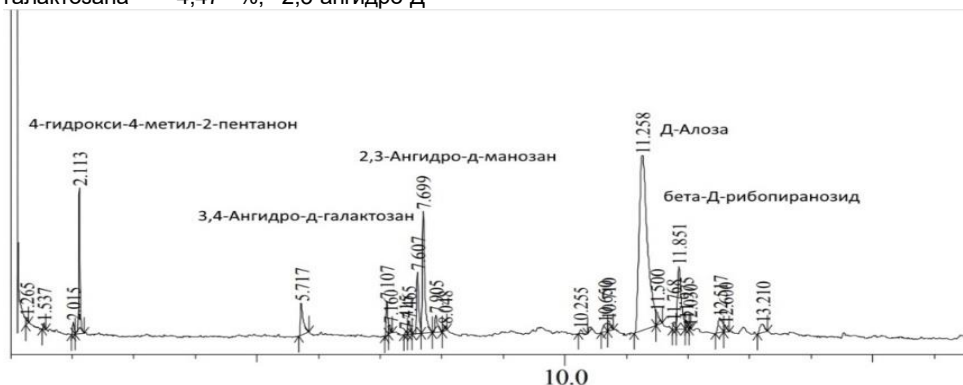


Рисунок 3 – Данные ГХ-МС водного экстракта

Figure 3 – GC-MS data of an aqueous extract

Второй этап фракционирования направлен на выделение углеводных компонентов ПЖ. Рафинат водной экстракции согласно анализу ГХ-МС преимущественно представлен фенолами (46,83 % от летучей части)

Анализ фракции полученной в процессе экстракции n-гексаном

При перемешивании экстрагент постепенно меняет цвет с прозрачного на тёмно-оранжевый. Граница раздела четкая. При разделении фракций в лабораторных условиях происходят значительные потери, в связи с чем материальный баланс процесса является приблизительным и не дает четкого представления для оценки весового выхода продуктов. Стоит отметить, что в среднем экстрактивные вещества в n-гексан выделяются в

незначительном количестве (около 10 %) от массы исходной фракции ПЖ-3. Выход рафината в среднем составляет 90 % от массы фракции ПЖ-3.

Полученные в ходе анализа химического состава экстракта данные показали наличие групп веществ, представленных в таблице 6.

Фенольные соединения в экстракте представлены такими веществами, как гваякол (2-метоксифенол) – 2.36 %, 4-этил-2-метокси фенол – 4.95 %, эвгенол – 2.92 %, 2-метокси-4- (проп-1-енил) фенол – 5.89 % и другие.

Анализ химического состава рафината, полученного на третьем этапе фракционирования (табл. 7), также показал наличие веществ, входящих в класс фенолов, с содержанием до 30 %.

АНАЛИЗ СОСТАВА ФРАКЦИЙ ПИРОЛИЗНОЙ ЖИДКОСТИ РАСТИТЕЛЬНОЙ БИОМАССЫ

Таблица 6 – Химический состав гексанового экстракта
Table 6 – Chemical composition of hexane extract

Класс соединений	%
Циклические ароматические углеводороды	3.63
Кислоты	5.04
Кетоны	2.21
Фенолы	31.6
Алканы	4
Алкены	0.36
Терпены	1.04
Эфиры	1.33
Альдегиды	7.77
Не идентифицировано	0.23
	46,7
	5

Таблица 7 – Химический состав фракции пиролизной жидкости после трех этапов фракционирования

Table 7 – Chemical composition of the pyrolysis liquid fraction after three fractionation stages

Класс соединений	%
Амины	8,83
Кислоты	3,44
Алканы	0,18
Ароматические соединения	1,29
Спирты	0,56
Альдегиды	2,71
Алкены	1,44
Кетоны	4,58
Фенолы	29,64
Углеводы /сахара	0,13
Не идентифицировано	47,18

При этом были выявлены как чистый фенол, так и его замещённые гомологи в виде креозола (5,32 %), эвгенола (1,64%) и алоценина (0,66 %). Помимо фенолов значительное содержание имеют соединения, входящие в класс кетонов, представленные 2 (5Н)-фураноном – 1,08 %, 2-ацетилфураном 0,14 %, циклопентандионом – 1,56 %, ацетофеноном – 0,48 % и др. Альдегид представлен соединением 3-(4-гидрокси-2-метоксифенил)-2-пропеналь – 2,71 %. Также анализ показал наличие кислот до 3,44 %, представленных в основном уксусной кислотой, содержание которой составляет 2,67 %. Вследствие сложного состава пиролизной жидкости в процессе анализа остается значительный процент не идентифицированных веществ, среди которых также могут быть представители указанных классов.

Стоит отметить, что наличие соединения группы аминов (триметиламин) вызывает вопросы, так как ранее они не были обнаружены. Возможно, это связано с нарушением отбора и хранения пробы. Данный вопрос требует проведения дополнительного ряда анализов для подтверждения или опровержения.

ВЫВОДЫ

Жидкий продукт пиролиза древесных отходов имеет очень сложный многокомпонентный состав, включающий в себя различные группы соединений. На основании данных газовой хроматографии можно сделать вывод, что методом дистилляции из ПЖ можно выделить основную часть воды и кислот, что позволяет повысить энергетическую плотность и предотвратить расслоение. Установлено, что основной кислотой в жидких продуктах пиролиза является уксусная кислота. Удаление кислот из ПЖ также является положительным аспектом при дальнейшем использовании ее в качестве топлива и фенолозамещающего сырья. Конденсат, полученный при дистилляции, имеет потенциал для использования в сельском хозяйстве [22, 23].

Водная экстракция ПЖ приводит к выделению в экстракт водорастворимых углеводных соединений

основным, из которых является D-аллоза. Согласно современным исследованиям, данный редкий сахар может оказывать ингибирующее действие на некоторые виды злокачественных новообразований [24, 25]. Кроме того, данный вид сахара нашел применение в качестве низкокалорийного подсластителя, что также говорит о потенциале ПЖ как сырьевого ресурса [26].

Третий этап интересен с точки зрения селективности неполярного органического растворителя н-гексана по отношению к компонентам ПЖ. Анализ экстракта выявил наличие ранее неустановленных высокомолекулярных соединений, таких как стигмаст-5-ен-3-ол, олеат – 7,7 %, сквален – 1,33 %, 1-метил-7-(1-метилэтил) фенантрен – 0,89 %, 1-нонадецен – 1,04.

Полученные данные подтверждают сложный состав жидкого продукта пиролиза биомассы и актуальность работ, направленных на его разделение.

Финансирование: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-73-10097, <https://rscf.ru/project/22-73-10097/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ковалев Ю.Ю. Пять лет Парижскому соглашению: прошлое, настоящее и будущее глобального климатического договора // История и современное мировоззрение. 2021. № 1. С. 20–29.
2. Oochit D., Selvarajoo A., Arumugasamy S.K. Pyrolysis of biomass // Waste biomass management-a holistic approach. 2017. С. 215–229.
3. Dhyani V., Bhaskar T. Pyrolysis of biomass // Biofuels: alternative feedstocks and conversion processes for the production of liquid and gaseous biofuels. Academic Press, 2019. С. 217–244.
4. Neves D. [et al.]. Characterization and prediction of biomass pyrolysis products // Progress in energy and combustion Science. 2011. Т. 37. № 5. С. 611–630.
5. Shafizadeh F. Introduction to pyrolysis of biomass // Journal of analytical and applied pyrolysis. 1982. Т. 3. № 4. С. 283–305.
6. Shafizadeh F. Pyrolysis and combustion of cellulosic materials // Advances in carbohydrate chemistry. Academic press, 1968. Т. 23. С. 419–474.
7. Graham R.G., Bergougrou M.A., Overend R.P. Fast pyrolysis of biomass // Journal of analytical and applied pyrolysis. 1984. Т. 6. № 2. С. 95–135.
8. Lindfors C. [et al.]. Fractionation of bio-oil // Energy & fuels. 2014. Т. 28. № 9. С. 5785–5791.
9. Kwon K.C. [et al.]. Catalytic deoxygenation of liquid biomass for hydrocarbon fuels // Renewable Energy. 2011. Т. 36. № 3. С. 907–915.
10. Choudhary T.V., Phillips C.B. Renewable fuels via catalytic hydride oxygenation // Applied Catalysis A: General. 2011. Т. 397. № 1–2. С. 1–12.
11. Wang S. [et al.]. Bio-gasoline production from co-cracking of hydroxypropanone and ethanol // Fuel processing technology. 2013. Т. 111. С. 86–93.
12. Trane R. [et al.]. Catalytic steam reforming of bio-oil // International journal of hydrogen energy. 2012. Т. 37. № 8. С. 6447–6472.
13. Zhao C. [et al.]. Hydrodeoxygenation of bio-derived phenols to hydrocarbons using RANEY® Ni and Nafion/SiO₂ catalysts // Chemical Communications. 2010. Т. 46. № 3. С. 412–414.
14. Guo Z. [et al.]. Separation characteristics of biomass pyrolysis oil in molecular distillation // Separation and Purification Technology. 2010. Т. 76. № 1. С. 52–57.
15. Vitasari C.R., Meindersma G.W., De Haan A.B. Water extraction of pyrolysis oil: The first step for the recovery of renewable chemicals // Bioresource technology. 2011. Т. 102. № 14. С. 7204–7210.
16. Toledano A. [et al.]. Lignin separation and fractionation by ultrafiltration // Separation and Purification Technology. 2010. Т. 71. № 1. С. 38–43.
17. Wang S. [et al.]. Multi-step separation of monophenols

and pyrolytic lignins from the water-insoluble phase of bio-oil // Separation and Purification Technology, 2014. T. 122. C. 248–255.

18. Электронный ресурс. <https://energolesprom.ru/tehnologiya/> (дата обращения 20.08.2024).

19. Neutrals influence on the water resistance coefficient of phenol-formaldehyde resin modified by wood pyrolysis liquid products / S. Zabelkin, A. Valeeva, A. Sabirzyanova [et al.] // Biomass Conversion and Biorefinery. 2020. DOI: 10.1007/s13399-020-01025-0. EDNQLOXXE.

20. Синтез и свойства фенолоформальдегидных смол из продуктов термической переработки древесины / А.И. Валиуллина, А.Н. Грачев, А.П. Валеева [и др.] // Клеи. Герметики. Технологии. 2022. № 5. С. 2–11. DOI: 10.31044/1813-7008-2022-0-5-2-111. EDN MWDHDK.

21. Валеева, А.П. Применение жидких продуктов быстрого пиролиза древесных отходов в качестве компонента фенолоформальдегидных смол : специальность 05.21.03 "Технология и оборудование химической переработки биомассы дерева; химия древесины" : дис. ... на соискание ученой степени кандидата технических наук / Валеева Айгуль Раисовна, 2022. 155 с. EDN KNFXVS.

22. Валеева А.П. [и др.]. Влияние способов предпосевной обработки семян пшеницы уксусной фракцией жидких продуктов пиролиза древесины на всхожесть, длину корней и интенсивность роста // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. № 245. С. 275–292.

23. Koltsova T.G. [et al.]. Phytotesting of Liquid Products of Wood Pyrolysis on Seeds of Higher Plants // Waste and Biomass Valorization. 2024. C. 1–13.

24. Kanaji N. [et al.]. Additive antitumor effect of D allose in combination with cisplatin in non-small cell lung cancer cells // Oncology Reports. 2018. T. 39. № 3. C. 1292–1298.

25. Yamaguchi F. [et al.]. Rare sugar D-allose enhances anti-tumor effect of 5-fluorouracil on the human hepatocellular carcinoma cell line HuH-7 // Journal of bioscience and bioengineering. 2008. T. 106. № 3. C. 248–252.

26. Mu W. [et al.]. Recent advances on applications and biotechnological production of D-psicose // Applied Microbiology and Biotechnology. 2012. T. 94. C. 1461–1467.

Информация об авторах

А. П. Валеева – кандидат технических наук, доцент кафедры «Химическая переработка древесины», Казанского национального исследовательского технологического университета.

REFERENCES

1. Kovalev, Yu.Yu. (2021). Five Years of the Paris Agreement: Past, Present and Future of the Global Climate Treaty. History and Contemporary Worldview, no1, pp. 20-29 (In Russ.).

2. Oochit, D., Selvarajoo, A. & Arumugasamy, S.K. (2017). Pyrolysis of biomass. Waste biomass management-a holistic approach, pp. 215-229.

3. Dhyan, V., Bhaskar, T. (2019). Pyrolysis of biomass. Biofuels: alternative feedstocks and conversion processes for the production of liquid and gaseous biofuels. Academic Press, pp. 217-244.

4. Neves, D. [et al.] (2011). Characterization and prediction of biomass pyrolysis products. Progress in energy and combustion Science, vol. 37, no. 5, pp. 611-630.

5. Shafizadeh, F. (1982). Introduction to pyrolysis of biomass. Journal of analytical and applied pyrolysis, vol. 3, no. 4, pp. 283-305.

6. Shafizadeh, F. (1963). Pyrolysis and combustion of cellulosic materials. Advances in carbohydrate chemistry. Academic press, vol. 23, pp. 419-474.

7. Graham, R.G., Bergougnou, M.A., Overend, R.P. (1984). Fast pyrolysis of biomass. Journal of analytical and applied pyrolysis, vol 6, no2, pp. 95-135.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 18 ноября 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 18 Nov 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.

8. Lindfors, C. [et al.]. (2014). Fractionation of bio-oil. Energy & fuels, vol. 28, no 9, pp. 5785-5791.

9. Kwon, K.C. [et al.]. (2011). Catalytic deoxygenation of liquid biomass for hydrocarbon fuels. Renewable Energy, vol. 36. no. 3, pp. 907-915.

10. Choudhary, T.V., Phillips, C.B. (2011). Renewable fuels via catalytic hydrodeoxygenation. Applied Catalysis A: General, vol. 397, pp. 1-12.

11. Wang, S. [et al.] (2013). Bio-gasoline production from co-cracking of hydroxypropanone and ethanol. Fuel processing technology, no. 111, pp. 86-93.

12. Trane, R. [et al.]. (2012). Catalytic steam reforming of bio-oil. International journal of hydrogen energy, vol. 37, no. 8, pp. 6447-6472.

13. Zhao, C. [et al.]. (2010). Hydrodeoxygenation of bio-derived phenols to hydrocarbons using RANEY® Ni and Nafion/SiO₂ catalysts. Chemical Communications, vol. 46. no. 3. pp. 412-414.

14. Guo, Z. [et al.]. (2010). Separation characteristics of biomass pyrolysis oil in molecular distillation. Separation and Purification Technology, vol. 76, no 1, pp. 52-57.

15. Vitasari, C.R., Meindersma, G.W., De Haan, A.B. (2011). Water extraction of pyrolysis oil: The first step for the recovery of renewable chemicals. Bioresource technology, vol. 102, pp. 7204-7210.

16. Toledano, A. [et al.]. (2010). Lignin separation and fractionation by ultrafiltration. Separation and Purification Technology, vol. 71, no. 1, pp. 38-43.

17. Wang, S. [et al.]. (2014). Multi-step separation of mono-phenols and pyrolytic lignins from the water-insoluble phase of bio-oil. Separation and Purification Technology, vol. 122, pp. 248-255.

18. ELP Group LLC. Pyrolysis technology: <https://energolesprom.ru/tehnologiya/> (Accessed 20.08.2024).

19. Zabelkin, S. [et al.]. (2020). Neutrals influence on the water resistance coefficient of phenol-formaldehyde resin modified by wood pyrolysis liquid products. Biomass Conversion and Biorefinery. DOI: 10.1007/s13399-020-01025-0.

20. Valiullina, A.I. [et al.]. (2022). Synthesis and properties of phenol-formaldehyde resins from products of thermal processing of wood. Adhesives. Sealants. Technologies, no 5, pp. 2-11, DOI: 10.31044/1813-7008-2022-0-5-2-111. (In Russ.).

21. Valeeva, A.R. (2022). Application of liquid products of rapid pyrolysis of wood waste as a component of phenol-formaldehyde resins, Ph.D. Thesis, Kazan National Research Technological University, Russia. (In Russ.).

22. Valeeva, A.R. (2024). The effect of methods of pre-sowing treatment of wheat seeds with acetic fraction of liquid wood pyrolysis products on germination, root length and growth intensity. Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy, no 245, pp. 275-292. (In Russ.).

23. Koltsova, T.G. [et al.]. (2024). Phytotesting of Liquid Products of Wood Pyrolysis on Seeds of Higher Plants. Waste and Biomass Valorization, pp. 1-13.

24. Kanaji, N. [et al.]. (2018). Additive antitumor effect of D allose in combination with cisplatin in non-small cell lung cancer cells. Oncology Reports, vol. 39, no. 3, pp. 1292-1298.

25. Yamaguchi, F. [et al.]. (2008). Rare sugar D-allose enhances anti-tumor effect of 5-fluorouracil on the human hepatocellular carcinoma cell line HuH-7. Journal of bioscience and bioengineering, vol. 106, no 3, pp. 248-252.

26. Mu, W. [et al.]. (2012). Recent advances on applications and biotechnological production of D-psicose. Applied Microbiology and Biotechnology, vol. 94, pp. 1461-1467.

Information about the authors

A.P. Valeeva - PhD (technical sciences), associate professor of the Department of 'Chemical processing of wood', of Kazan National Research Technological University.



Научная статья

2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)
УДК544.7

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.031



РАЗРАБОТКА ФИЛЬТРОМАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩЕЙ ПОРОДЫ ДЛЯ ДООЧИСТКИ ПИТЬЕВЫХ ВОД ОТ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ФОРМ МЕТАЛЛОВ

Юлия Алексеевна Тунакова ¹, Гульнара Наилевна Габдрахманова ²,
Всеволод Сергеевич Валиев ³

^{1, 2} Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева–КАИ, Казань, Россия

¹ juliaprof@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8826-8639>

² g.n.gabdrakhmanova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0735-5181>

³ Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, Казань, Россия

³ podrost@mail.ru

Аннотация. Пробы питьевой воды, отобранные в домах и квартирах на территории г. Казани, показали полиметаллическое загрязнение. В статье исследована возможность применения цеолитсодержащей породы Татарско-Шатрашанского месторождения для доочистки питьевых вод от металлов, поступающих в ходе прохождения по водоводам и разводящим путям. Проведена серия экспериментов по разработке способов модификации цеолитсодержащей породы Татарско-Шатрашанского месторождения. Предложены наиболее эффективные способы модификации. Разработаны три образца фильтроматериала: цеолит природный подготовленный, цеолит модифицированный кислотой и цеолит обработанный солью. Эффективность фильтроматериалов оценивалась путем сопоставления концентраций металлов до и после контакта с разработанными образцами фильтроматериалов. Анализ концентраций металлов до и после очистки образцами фильтроматериалов проводился методом атомно-абсорбционной спектрометрии. Оценена эффективность сорбции отдельных образцов цеолитсодержащей породы по отношению к водным растворам цинка, свинца, меди, и хрома. Расчет эффективности сорбции показал эффективность очистки фильтроматериалом на основе цеолита природного, подготовленного механически от ионов свинца – до 98 % и меди – до 93 %, однако использование данного фильтроматериала дает большое количество взвесей. Цеолит, модифицированный HCl, показал также высокую эффективность очистки от ионов меди – 96 % и свинца – 94 %. Фильтроматериал на основе цеолита, модифицированного раствором NaCl, показал высокую эффективность очистки от ионов цинка – до 81 %, меди – до 94 % и свинца – до 86 %.

Ключевые слова: цеолит, модификация, фильтроматериал, металлы, доочистка питьевой воды, эффективность.

Для цитирования: Тунакова Ю. А., Валиев В. С., Габдрахманова Г. Н. Разработка фильтроматериала на основе цеолитсодержащей породы для доочистки питьевых вод от водорастворимых форм металлов // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 181–184. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.031. EDN: <https://elibrary.ru/TRFUFG>.

Original article

DEVELOPMENT OF FILTER MATERIAL BASED ON CEOLITE-CONTAINING ROCK FOR ADDITIONAL TREATMENT OF DRINKING WATER FROM WATER-SOLUBLE FORMS OF METALS

Yulia A. Tunakova ¹, Gulnara N. Gabdrakhmanova ², Vsevolod S. Valiev ³

^{1, 2} Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan, Russia

¹ juliaprof@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8826-8639>

² g.n.gabdrakhmanova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0735-5181>

³ Institute of Problems of Ecology and Subsoil Use of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia

³ podrost@mail.ru

Abstract. Drinking water samples taken in houses and apartments in the territory of Kazan showed polymetallic contamination. In the article the possibility of using zeolite-containing rock of the Tatarsko-Shatrashansky deposit for additional treatment of drinking water from metals coming in the course of passing through water pipelines and branch lines is investigated. A

© Тунакова Ю. А., Валиев В. С., Габдрахманова Г. Н., 2025

series of experiments on development of methods of modification of zeolite-containing rock of Tatarsko-Shatrashansky deposit was carried out. The most effective ways of modification were proposed. Three samples of filter material were developed: natural prepared zeolite, zeolite modified with acid and zeolite treated with salt. The effectiveness of the filter materials was evaluated by comparing the concentrations of metals before and after contact with the developed filter material samples. Metal concentrations before and after treatment with the filter material samples were analyzed by atomic absorption spectrometry. Sorption efficiency of separate samples of zeolite-containing rock in relation to aqueous solutions of zinc, lead, copper, and chromium was evaluated. The calculation of sorption efficiency showed the efficiency of purification by filter material based on natural zeolite, prepared mechanically from lead ions - up to 98% and copper - up to 93%, but the use of this filter material gives a large amount of suspended solids. Zeolite modified with HCl also showed high efficiency of purification from copper ions - 96% and lead ions - 94%. The filter material based on zeolite modified by NaCl solution showed high efficiency of purification from zinc ions - up to 81%, copper - up to 94% and lead - up to 86%.

Keywords: zeolite, modification, filter material, metals, additional treatment of drinking water, efficiency.

For citation: Tunakova, Yu.A., Gabdrakhmanova, G.N. & Valiev, V.S. (2025). Development of filter material based on zeolite-containing rock for additional treatment of drinking water from water-soluble forms of metals. Polzunovskiy vestnik, (3), 181-184. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.031. EDN: <https://elibrary.ru/TRUFUM>.

ВВЕДЕНИЕ

В результате вторичного загрязнения металлами вод питьевого назначения после прохождения по водоразводящим магистралям становится необходимой индивидуальная доочистка водопроводной воды от металлов непосредственно потребителями. Хроническое поступление металлов в организм человека ведет к нарушениям в работе многих органов и систем [1–4]. Работы по оценке сорбционной емкости отечественных природных сорбентов для доочистки питьевой воды от ионов металлов, например [5–7], показывают эффективность природных материалов. Однако разработка фильтроматериала для доочистки питьевых вод из цеолитсодержащей породы имеет основания ввиду дешевизны и доступности сырья, эффективности удаления металлов в водных растворах, безопасности использования и получения физиологически полноценной воды. Известны исследования по изучению физико-химических свойств и структурно-химических превращений цеолита, полученного в ходе гидротермальной и кислотно-термической модификации для улучшения эффективности сорбции природного материала [8–10]. Но исследования по модификации цеолитов местного месторождения с целью получения фильтроматериала для доочистки питьевых вод от металлов имеют большое практическое значение.

Поэтому целью нашего исследования явилась разработка способа модификации цеолитсодержащей породы Татарско-Шатрашанского месторождения для доочистки питьевой воды от водорастворимых форм металлов.

МЕТОДЫ

Был осуществлен отбор проб водопроводной питьевой воды в местах проживания детей (квартирах и домах) по всей территории города Казани (количество определений концентраций металлов – 1465). Отбор проб питьевой воды, согласно ГОСТ Р 51592, проводился на выходе из водопроводных кранов внутри квартир и домов. Пробы отбирались без предварительного слива воды объемом в 1,5 дм³ в чистые полиэтиленовые емкости с герметичными крышками. В процессе пробоподготовки 1 дм³ пробы выпаривался на водяной бане, сухой остаток растворялся в 50 см³ 1 н. азотной кислоты (х.ч.). Полученная аликвотная часть анализировалась методом атомно-абсорбционной спектрометрии (AAS) на содержание металлов (длины волн, нм): Zn (213,9 нм), Pb (283,3 нм), Cu (324,8 нм), Cr (357,9 нм).

Концентрации цинка в образцах питьевой водопроводной воды менялись в диапазоне 0,012–0,044 мг/дм³, средняя концентрация составила

0,028 мг/дм³. Концентрации меди в питьевой воде изменялись 0,0015–0,009 мг/дм³, средняя концентрация – 0,005 мг/дм³. Концентрации свинца в водопроводной воде варьировались в диапазоне от 0,007 до 0,025 мг/дм³, средняя концентрация составила 0,016 мг/дм³. Концентрации хрома изменялись от 0,0005 до 0,023 мг/дм³, средняя концентрация – 0,012 мг/дм³.

Использование в качестве фильтроматериала для очистки питьевых вод цеолитсодержащей породы Татарско-Шатрашанского месторождения разрешено заключением Санэпиднадзора. Для оценки эффективности использования цеолитсодержащей породы Татарско-Шатрашанского месторождения в качестве фильтроматериала были проведены испытания подготовленных немодифицированных и модифицированных образцов с последующим сравнением с промышленными БФ, показавшими лучшую эффективность очистки.

Для экспериментальных исследований были разработаны три образца фильтроматериалов, включающих цеолит природный, подготовленный механически, цеолит модифицированный кислотой и обработанный солью.

Для фильтроматериала, включающий цеолит природный, подготовленный механически, использовался образец цеолитсодержащей породы Татарско-Шатрашанского месторождения массой 3 г, выдерживался при перемешивании в 100 мл дистиллированной воды в течение 60 минут. Затем образец отфильтровывался с промывкой на фильтре дистиллированной водой и последующей сушкой при комнатной температуре в течение 48 часов.

Для фильтроматериала, включающий цеолит, модифицированный кислотой, использовался 20 % раствор HCl. В раствор кислоты объемом 50 мл помещалась термически обработанная взвешенная навеска цеолита Татарско-Шатрашанского месторождения, масса которой составляла 0,5 г, и выдерживалась в растворе кислоты в течение 6 часов. Затем использованный раствор сливался, и образец цеолита промывался дистиллированной водой на бумажном фильтре. Далее образец цеолита помещался в сушильный шкаф при 105 °C на 2 часа.

Для фильтроматериала, включающего цеолит, обработанный солью, использовался цеолита раствор соли NaCl. Взвешенная навеска цеолита Татарско-Шатрашанского месторождения массой 3 г выдерживалась в 100 мл 5 % раствора NaCl в течение 60 минут. Затем промытый дистиллированной водой образец сушился на бумажном фильтре при комнатной температуре в течение 48 часов.

Подготовленный модельный раствор ионов металлов пропускали через образцы, помещенные на бумажный фильтр. Комбинированный модельный

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2025

РАЗРАБОТКА ФИЛЬТРОМАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩЕЙ ПОРОДЫ ДЛЯ ДООЧИСТКИ ПИТЬЕВЫХ ВОД ОТ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ФОРМ МЕТАЛЛОВ

раствор содержал катионы Zn(II), Pb(II), Cr(III), Cu(II) в концентрациях, соответствующих средним значениям их содержания в водопроводной питьевой воде. Анализ концентраций металлов после контакта с образцами модифицированного цеолита проводился на атомно-абсорбционном спектрофотометре AAS-400.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Концентрация ионов металлов до и после очистки воды фильтроматериалами от ионов металлов представлены таблице 1.

Таблица 1 – Концентрация ионов металлов до и после очистки воды фильтроматериалами от ионов металлов
Table 1 – Concentration of metal ions before and after water treatment by filter materials from metal ions

Фильтроматериалы / Концентрация катионов металлов (мг/л)		Zn(II)	Pb(II)	Cr(III)	Cu(II)
Цеолит природный, подготовленный	До	0,028	0,016	0,012	0,005
	После	0,01	0,0003	0,0038	0,0003
Цеолит, модифицированный HCl	До	0,028	0,016	0,012	0,005
	После	0,0064	0,0009	0,005	0,0002
Цеолит, модифицированный раствором NaCl	До	0,028	0,016	0,012	0,005
	После	0,0053	0,0022	0,0096	0,0003

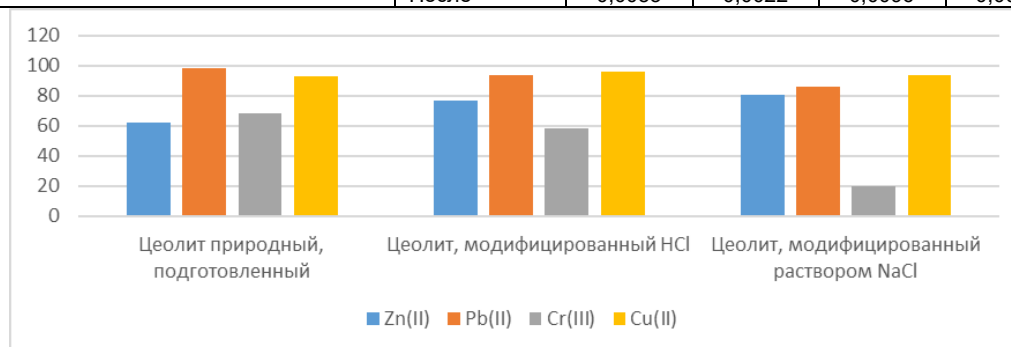


Рисунок 1 – Эффективность очистки образцами цеолитсодержащего фильтроматериала
Figure 1 – Efficiency of purification by samples of zeolite-containing filter material

ОБСУЖДЕНИЕ

Таким образом, установлена высокая эффективность очистки цеолитом природным, подготовленным механически от ионов свинца – до 98 % и меди – до 93 %, однако данный фильтроматериал дает большое количество взвесей, что ограничивает его применение для доочистки питьевых вод. Фильтроматериал, включающий цеолит, модифицированный HCl, показал также высокую эффективность очистки от ионов меди – 96 % и свинца – 94 %.

Фильтроматериал, включающий цеолит, модифицированный раствором NaCl, продемонстрировал высокую эффективность очистки от ионов цинка – до 81 %, меди – до 94% и свинца – до 86%. Однако сорбция ионов хрома составила всего 20 %, что ниже установленной ГОСТ 31952-2012 минимально допустимой степени очистки, что ограничивает применение данного фильтроматериала для очистки питьевых вод с повышенным содержанием ионов хрома.

Отмечено, что по эффективности сорбции всех трех образцов фильтроматериала ионы металлов располагаются в ряд Cu(II)>Pb(II)>Zn(II)>Cr(III).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Фильтроматериалы для очистки питьевых вод от металлов, поступающих в ходе вторичного загрязнения, по мере прохождения по водоразводящим путям обеспечивают требуемую эффективность и безопасность. Выбранные три способа модификации образцов фильтроматериалов, включающих цеолит

Эффективность сорбции E_s , % вычислялась для каждого металла по формуле:

$$E_s = \frac{C_{до} - C_{после}}{C_{до}} \times 100;$$

где $C_{до}$ и $C_{после}$ – концентрации металла в растворе до и после адсорбции на фильтроматериале.

Оценка эффективности очистки образцами цеолитсодержащего фильтроматериала представлена на рисунке 1.

природный подготовленный механически, цеолит, модифицированный соляной кислотой и цеолит, обработанный раствором хлорида натрия, повышают эффективность доочистки питьевых вод от металлов.

Результаты проведенных экспериментов представляют научно-практический интерес, так как позволяют научно обосновать способы модификации цеолитсодержащей породы Татарско-Шатрашанского месторождения для получения фильтроматериала, предназначенного для доочистки питьевых вод от водорастворимых форм металлов.

* Научные исследования проведены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках исполнения обязательств по Соглашению номер № 075-03-2024-067 от 17.01.2024 г. (номер темы FZSU-2023-0005).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Martinez-Hernanz A., Gonzalez-Estecha M., Blanco M., Fuentes M., Ordycey-Iriarte J.M., Palazyn-Bru I., Calvo-Manuel E., Bodas-Pinedo A. (2020). Blood lead in children and associations with trace elements and sociodemographic factors. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology: organ of the Minerals and Trace Elements (GMS). 58:126424. doi: 10.1016/j.jtemb.2019.126424. Epub 2019 Nov.
2. Оценка микроэлементного состава крови у детей с врожденными деформациями грудного и поясничного отделов позвоночника (предварительное сообщение) / Т.В. Лобачевская [и др.] // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2019. № 7 (1). С. 51–56. <https://doi.org/10.17816/PTORS7151-56>.

3. John A.M. Mahugija, Zainab S. Kasenya and Kessy F. Kilulya. (2018). Levels of heavy metals in urine samples of school children from selected industrial and non-industrial areas in Dar es Salaam, Tanzania. African Health Sciences. 18(4): 1226–1235. doi: 10.4314/ahs.v18i4.44.

4. Лобачев А.Л., Ревинская Е.В., Лобачева И.В. Питьевая вода. Санитарно-токсикологическая характеристика химических компонентов воды. Самара : Самарский университет, 2008. 37 с.

5. Митракова Т.Н., Лукьянчикова О.Н., Лозинская Е.Ф. Сорбция ионов меди (II) природными материалами // Конденсированные среды и межфазные границы. 2016. Т. 18. № 1. С. 72–80.

6. Кольцова А.В. Исследование очистки питьевой воды на основе минеральных сорбентов // В сборнике: Проблемы геологии и освоения недр. Труды XXVII Международного молодежного научного симпозиума имени академика М.А. Усова, посвященного 160-летию со дня рождения академика В.А. Обручева и 140-летию академика М.А. Усова, основателям Сибирской горно-геологической школы. Томск. 2023. С. 150–151.

7. Убаскина Ю.А., Коростелева Ю.А. Исследование возможности практического применения диатомита для очистки сточных вод // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 7. С. 92–96.

8. Мишагин К.А., Ямалеева Е.С., Готлиб Е.М., Хацринов А.И. Влияние кислотной активации на сорбционные характеристики цеолит содержащей кремнистой породы // Вестник технологического университета. 2022. Т. 25, № 6, С. 73–80.

9. Саримсакова Н.С., Файзуллаев Н.И., Бакиева Х.А. Изучение физико-химических характеристик клиноптилолита в процессе его модификации // Universum: технические науки. 2022. № 1–3 (94). С. 21–26.

10. Erdem E. The removal of heavy metal cations by natural zeolites / Erdem E., Karapinar N., Donat R. // Journal of Colloid and Interface Science. 2004. № 2 (280). P. 309–314.

Информация об авторах

Ю. А. Тунакова – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой общей химии и экологии Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ.

Г. Н. Габдрахманова – кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры общей химии и экологии Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ.

В. С. Валиев – старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии Института проблем экологии и недропользования АН РТ, РФ.

REFERENCES

1. Martinez-Hernanz, A., Gonzalez-Estecha, M., Blanco, M., Fuentes, M., Ordycze-Iriarte, J.M., Palazyn-Bru, I., Calvo-Manuel, E., Bodas-Pinedo, A. (2020). Blood lead in children and

associations with trace elements and sociodemographic factors. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology: organ of the Minerals and Trace Elements (GMS). 58:126424. doi: 10.1016/j.jtemb.2019.126424. Epub 2019 Nov.

2. Lobachevskaya, V.T. [et al.]. (2019). Evaluation of blood microelement composition in children with congenital deformities of the thoracic and lumbar spine (preliminary report) / Orthopedics, Traumatology and Restorative Surgery of Childhood. № 7 (1). С. 51–56. <https://doi.org/10.17816/PTORS7151-56>. (in Russ.).

3. John A.M. Mahugija, Zainab S. Kasenya and Kessy F. Kilulya. (2018). Levels of heavy metals in urine samples of school children from selected industrial and non-industrial areas in Dar es Salaam, Tanzania. African Health Sciences. 18(4): 1226–1235. doi: 10.4314/ahs.v18i4.44.

4. Lobachev, A.L., Revinskaya, E.V., Lobacheva, I.V., Lobacheva, I.V. (2008). Drinking water. Sanitary and toxicological characterization of chemical components of water: Samara : Samara University, 37 c. (in Russ.).

5. Mitrakova, T.N., Lukyanchikova, O.N., Lozinskaya, E.F. (2016). Sorption of copper (II) ions by natural materials. Condensed media and interphase boundaries. Т. 18. № 1. С. 72–80.

6. Koltsova, A.V. (2023). Research of drinking water purification on the basis of mineral sorbents. In collection: Problems of geology and subsoil development. Proceedings of the XXVII International Youth Scientific Symposium named after Academician M.A. Usov, dedicated to the 160th anniversary of Academician V.A. Obruchev and 140th anniversary of Academician M.A. Usov, the founders of the Siberian mining and geological school. Tomsk. С. 150–151.

7. Ubaskina, Yu.A., Korosteleva, Yu.A. (2017). Study of the possibility of practical application of diatomite for wastewater treatment. Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. № 7. С. 92–96.

8. Mishagin, K.A., Yamaleeva, E.S., Gotlib, E.M., Khatsrinov, A.I. (2022). Influence of acid activation on sorption characteristics of zeolite containing siliceous rock. Vestnik of Technological University. Vol. 25, No. 6, P. 73–80.

9. Sarimsakova, N.S., Faizullaev, N.I., Bakieva, H.A. (2022). Study of physical and chemical characteristics of clinoptilolite in the process of its modification. Universum: Technical Sciences. No. 1-3 (94). С. 21–26. (in Russ.).

10. Erdem, E., Karapinar, N., Donat, R. (2004). The removal of heavy metal cations by natural zeolites. Journal of Colloid and Interface Science. No. 2 (280). P. 309–314.

Information about the authors

Yu.A. Tunakova - Doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of the Department of General Chemistry and Ecology, Kazan National Research Technical University named after I.I. A.N. Tupolev - KAI.

G.N. Gabdrakhmanova - Candidate of Chemical Sciences, Assistant Professor, Department of General Chemistry and Ecology, Kazan National Research Technical University named after V.I. A.N. Tupolev - KAI.

V.S. Valiev - Senior Researcher, Laboratory of Biogeochemistry, Institute of Problems of Ecology and Subsoil Use, Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, RF.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 22 ноября 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 22 Nov 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.



Научная статья

2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)

УДК 628.1.033:664

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.032



К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ И ВОДЫ ДЛЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Наталья Вячеславовна Гора ¹, Даниил Андреевич Чернышёв ²,
Галина Васильевна Гуринович ³, Оксана Владимировна Беляева ⁴

^{1, 2, 3, 4} Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

¹goranataliya@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6055-8570>

²danilachernishov79@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7622-2767>

³ggv55@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7869-4151>

⁴belyaeva-ov.kemsu@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3030-9140>

Аннотация. Показано важное значение воды для жизнедеятельности организма и здоровья человека. Обозначены причины низкого качества питьевой воды в РФ. Обосновано предложение необходимости и возможности использования в качестве альтернативного источника водоснабжения подземных вод. Приведена информация по загрязнению железом подземных вод Кузбасса и России. Предложено техническое решение по обезжелезиванию воды адсорбцией на модифицированном полукоксе с утилизацией отходов. Рассмотрены результаты сравнительного исследования по очистке от железа адсорбцией на коммерческом полукоксе Пуrolat–Стандарт и его модифицированном глицином образце. Отмечено значительное увеличение адсорбционной емкости модифицированного полукокса. Предлагаемая технология позволит существенно повысить экономичность, экологичность, эффективность очистки и качество питьевой воды и воды для пищевых производств.

Ключевые слова: подземные воды, железо, адсорбция, углеродные сорбенты, модифицирование, пищевые производства.

Благодарности: Исследования проводились в рамках Конкурса РНФ «Проведение инициативных исследований молодыми учеными» Президентской программы исследовательских проектов, реализуемых ведущими учеными, в том числе молодыми учеными. Название проекта: "Физико-химические и прикладные основы инновационной адсорбционной технологии обезжелезивания природных вод", проект № 23-73-01036.

Для цитирования: Гора Н. В., Чернышёв Д. А., Гуринович Г. В., Беляева О. В. К вопросу о повышении качества питьевой воды и воды для пищевых производств // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 185–188. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.032. EDN: <https://elibrary.ru/SFOKWM>.

Original article

TO QUESTION OF IMPROVING QUALITY OF DRINKING WATER AND WATER FOR FOOD PRODUCTION

Natalia V. Gora ¹, Daniil A. Chernyshyov ², Galina V. Gurinovich ³,
Oksana V. Belyaeva ⁴

^{1, 2, 3, 4} Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

¹goranataliya@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6055-8570>

²danilachernishov79@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7622-2767>

³ggv55@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7869-4151>

⁴belyaeva-ov.kemsu@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3030-9140>

Abstract. The importance of water for the vital functions of the organism and human health is shown. The reasons for the low quality of drinking water in the Russian Federation are identified. The proposal for the necessity and possibility of using groundwater as an alternative source of water supply is substantiated. Information on the contamination of groundwater with iron in Kuzbass and Russia is provided. A technical solution for water deironing by adsorption on modified semi-coke with waste disposal is proposed. The results of a comparative study on iron removal by adsorption on commercial semi-coke Purolat-Standard and its glycine-modified sample are considered. A significant increase in the adsorption capacity of the modified semi-coke is noted. The proposed technology will significantly improve the cost-effectiveness, environmental friendliness, purification efficiency and quality of drinking water and water for food production.

Keywords: underground water, iron, adsorption, carbon sorbents, modification, food production.

Acknowledgments: The research was conducted within the framework of the RSF Competition "Conducting Initiative Research by Young Scientists" of the Presidential Program of Research Projects Implemented by Leading Scientists, Including Young Scientists. Project name: "Physicochemical and Applied Fundamentals of Innovative Adsorption Technology for Iron Removal from Natural Waters", project No. 23-73-01036.

© Гора Н. В., Чернышёв Д. А., Гуринович Г. В., Беляева О. В., 2025

For citation: Gora, N.V., Chernyshyov, D.A., Gurinovich, G.V. & Belyaeva, O.V. (2025). To question of improving quality of drinking water and water for food production. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 185-188. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.032. EDN: <https://elibrary.ru/SFOKWM>.

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение населения страны питьевой водой и качественными продуктами питания на ее основе является важнейшим условием национальной безопасности. Несмотря на то, что вода не является собственно нутриентом, не обладает пищевой и энергетической ценностью, она принимает участие практически во всех жизненно важных процессах обмена: способствует пищеварению, служит растворителем для неорганических и органических соединений, удаляет из организма вредные продукты метаболизма, регулирует содержание солей в тканях и жидкостях, участвует во множестве других реакций метаболизма. Питьевая вода – необходимый элемент жизнеобеспечения населения, т. к. от ее качества зависит здоровье людей, уровень их санитарно-эпидемиологического благополучия и степень благоустройства городской среды. По данным Всемирной организации здравоохранения, 80 % болезней в мире связаны с неудовлетворительного качества питьевой водой.

В материалах "Водной стратегии РФ" отмечено, что большинство водохозяйственных участков на территории Российской Федерации характеризуется высокой степенью загрязнения водных объектов и низким качеством воды. Наиболее напряженная экологическая ситуация сложилась в бассейнах рек Волги, Оби, Енисея, Амура, Северной Двины и Печоры, загрязнены также поверхностные воды бассейнов рек Дона, Кубани, Терек и рек бассейна Балтийского моря. Загрязнены техногенными примесями также притоки крупных рек в промышленно развитых регионах (например, р. Тотьма) и каждый второй житель России вынужден использовать для питьевых целей воду, не соответствующую по ряду показателей установленным нормативам. Основными причинами низкого качества питьевой воды является загрязнение природных вод техногенными загрязнителями и веществами естественного происхождения, а также несовершенство технологий подготовки воды. Современные технологии подготовки воды, в том числе и из подземных источников, многостадийны, трудоемки, материалозатратны и, как правило, сопровождаются образованием жидких и (или) твердых отходов, причем не всегда достигается нормативное качество воды.

Учитывая, что при производстве линейки основных продуктов питания, как правило, используют воду системы хозяйственного питьевого водоснабжения существует прямая зависимость качества пищевой продукции и здоровья населения от степени очистки воды. Все это является дестабилизирующим социальным фактором особенно для промышленных регионов с интенсивным антропогенным воздействием на окружающую среду.

Использование в качестве исходного сырья для приготовления питьевой воды запасов подземных (артезианских вод) решает многие проблемы, в том числе по стабильности качества, по защищенности в санитарно-бактериологическом отношении, по надежности, в свете защиты от чрезвычайных ситуаций и, как правило, по стоимости обработки. В связи с этим подземные воды в качестве альтернативного источника водоснабжения используют не только территории, удаленные от поверхностных источников, но и населенные пункты, стоящие на реках. Ресурсный потенциал подземных вод на территории Российской Федерации составляет почти 400 куб. км в год.

Подземные воды надежно защищены от проникновения отходов промышленности и сельского хозяйства слоями природных минералов. Состав примесей в подземных водах обусловлен условиями их формирования. Водонесные пласты проходят через различные породы (угли, руды, известняк) и минералы, содержащиеся в них, растворяются и изменяют состав артезианских вод. Кузбасс угольный бассейн, поэтому чаще всего в подземных водах встречается железо в виде солей Fe (II). Исследование химического состава подземных вод северной части Кузбасса показало, что в большинстве из них содержание железа превышает ПДК в 2,5–15 раз [1]. В других исследованиях [2, 3] установлено, что содержание железа в отдельных районах Кузбасса превышает ПДК в 60–80 раз. Также отмечено, что воды с повышенным содержанием железа 20–80 ПДК распространены в центральном и северном районах России, в Сибири, на Кольском полуострове, на Дальнем Востоке, Алтае. В Московском каменноугольном артезианском бассейне, по данным И.К. Лысогоровой (санэпидемстанция 4 главного управления Министерства здравоохранения), концентрация железа превышает ПДК в 2–20 раз.

Необходимость очистки воды от железа вызвана рядом нежелательных последствий эстетического, технического, экономического и органолептического характера. Кроме того, повышенное содержание в воде данных компонентов отрицательно сказывается на здоровье человека и может приводить к различным негативным последствиям. При длительном потреблении внутрь такой воды или продуктов питания человек рискует приобрести различные заболевания нервной и сердечно-сосудистой систем, печени, почек, желудочно-кишечного тракта, снижение иммунитета, нарушение репродуктивной функции.

В практике водоподготовки для удаления железа из воды используют аэрацию и реагентное обезжелезивание. Это трудоемкие и материалозатратные методы, генерирующие не утилизируемые отходы соединений железа, загрязняющие окружающую среду, негативно влияющие на микрофлору почв, что приводит к потере плодородия [4–6].

Одним из путей решения данной проблемы является применение для обезжелезивания углеродных сорбентов, обладающих способностью сорбировать ионы металлов. Сооружения для реализации такой очистки проще, компактнее, дешевле, а сам процесс более экономичен.

МЕТОДЫ

Нами изучена возможность использования для обезжелезивания подземных вод полукоксов, которые после отработки могут быть эффективно утилизированы.

Объектом исследования являлся полукокс, полученный по технологии одностадийной паровоздушной карбонизации / активации Пуrolat–Стандарт (антрацитовый полукокс, производство ООО "АНТРАКТИВ", Россия).

В настоящее время он используется в качестве замены традиционных песчаных фильтров. Область его применения механическая очистка воды от грубодисперсных частиц, мутности, цветности, предварительная очистка в системах водоподготовки АЭС, ТЭЦ, ГРЭС.

Одним из основных критериев оценки адсорбционных свойств сорбентов являются изотермы адсорбции,

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2025

К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ И ВОДЫ ДЛЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

которые позволяют определить зависимость активности сорбента (адсорбционной емкости) от концентрации адсорбата (очищаемого раствора) в условиях равновесия.

Адсорбция железа (II) коммерческим Пуrolат–Стандартом и его модифицированным глицином образцом была исследована на модельных растворах с концентрацией от 5 до 400 мг/л. Определение железа (II) проводили согласно стандартной методике [7].

Таблица 1 – Структурные характеристики полукокса / Table 1 – Structural characteristics of the semi-coke

Образец	Суммарная площадь поверхности $S_{\text{БЭТ}}$, м ² /г	Суммарный объем пор V_{Σ} , см ³	Объем микропор $V_{\text{микро}}$, см ³ /г
коммерческий полукокс	1,62	0,213	-
модифицированный полукокс	1,89	0,016	$2 \cdot 10^{-3}$

Из данных таблицы 1 следует, что полукокс Пуrolат–Стандарт является макропористым сорбентом.

Исследования химии поверхности показало, что рН водной вытяжки равен 3,72, количество поверхностных групп: кислотных – 0,024 ммоль-экв/г, а основных – 0,200 ммоль-экв/г.

Ранее проведенные исследования [8] показали низкую адсорбционную емкость коммерческого Пуrolат–Стандарта. В то же время полукокс обладает хорошими фильтрующими свойствами, прочностью. Для использования Пуrolат–Стандарта в практике водоподготовки необходимо повысить его адсорбционную способность до уровня активных углей.

Нами разработан способ повышения адсорбционной емкости полукокса путем модифицирования аминокислотами [9]. При этом молекулы аминокислот закрепляются на поверхности полукокса и изменяют химию поверхности.

На основе исследований были построены изотермы адсорбции (рис. 1).

ОБСУЖДЕНИЕ

При адсорбции железа (II) как на коммерческом, так и на модифицированном сорбенте изотерма адсорбции имеет L-форму и протекает соответственно модели монослойной адсорбции на однородной поверхности в отсутствие сил притяжения между молекулами адсорбата (теория мономолекулярной адсорбции Ленгмюра [10]). Изотерма адсорбции растет пропорционально концентрации. Затем рост замедляется, при достаточно высокой концентрации рост прекращается, т.к. покрытие становится близким к монослойному и имеет физическую природу. При извлечении железа (II) на коммерческом полукоксе адсорбция будет проходить за счет дисперсионного взаимодействия с поверхностью сорбента. Низкая адсорбция железа (II) обусловлена

Таблица 2 – Параметры адсорбции железа (II) / Table 2 – Parameters of iron (II) adsorption

Образец	Уравнение Ленгмюра	
	$-\Delta G$, кДж/моль	Γ_{max} , ммоль/г
коммерческий полукокс	25,55	0,068
полукокс модифицированный глицином	24,62	0,185

Адсорбционные параметры ионов железа (II) в условиях равновесия рассчитаны по уравнению Ленгмюра.

Полученные значения энергии Гиббса свидетельствуют, что процесс заполнения монослоя при адсорбции железа (II) на изученных сорбентах протекает самопроизвольно, а адсорбционная емкость Пуrolат–Стандарта Γ_{max} после модифицирования увеличивается в 2,5 раза и сравнима с адсорбционной емкостью активных углей [7]. При этом у модифицированного глицином Пуrolат–Стандарта характеристики пористой

Время достижения адсорбционного равновесия было определено в статических условиях отдельной серией опытов и не превышало 24 ч.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Характеристики структуры полукокса определялись по низкотемпературной адсорбции азота на анализаторе удельной поверхности "Сорбтометр М".

отсутствием микропор и незначительным содержанием кислотных поверхностных групп.

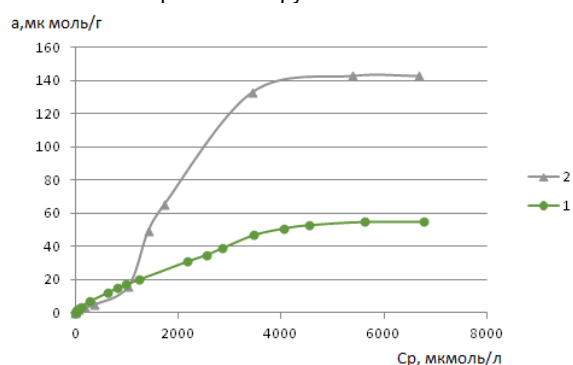
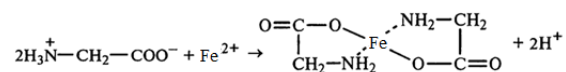


Рисунок 1 – Изотермы адсорбции железа (II) из водного раствора образцами Пуrolат–Стандарта:
1 – коммерческий полукокс
2 – полукокс, модифицированный глицином

Figure 1 – Isotherms of iron (II) adsorption from an aqueous solution by samples of the Purolate Standard:
1 – commercial semi-coke 2 – semi-coke modified with glycine

После модифицирования механизм адсорбции изменяется. Молекулы глицина, содержащие активные amino- и карбоксильные группы взаимодействуют с железом (II) как по аминогруппе за счет образования донорно-акцепторной связи, так и по карбоксильной группе за счет ионной связи.

При этом образуется очень устойчивое внутри-комплексное соединение:



структуры практически не изменились.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование модифицированного сорбента позволяет увеличить эффективность очистки и количество очищаемой воды.

После потери адсорбционной способности в результате эксплуатации по очистке подземных вод от железа модифицированный сорбент может быть использован в качестве вторичного сырья в металлургической и коксохимической промышленности, что

позволит полностью исключить отходы.

Проведенные исследования станут основой для разработки эффективной, экономичной и экологически безопасной технологии очистки подземных вод от железа, позволяющей получать питьевую воду и воду для производства пищевых продуктов высокого качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сколубович Ю.Л. Исследование качественного состава подземных вод Кузбасса // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия «Материалы. Конструкции. Технологии». 2017. № 2. С. 107–115.
2. Берлинтейгер Е.С. Изучение основных видов загрязнений водных ресурсов Кузбасса // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2013. № 11. С. 55.
3. Токаренко О.Г. Подземные воды центральной части Кузбасса: химический состав в пределах различных ландшафтных областей // Известия Томского политехнического университета. Гидрогеология. 2012. № 1. С. 169–174.
4. Vanikar J.C., Mohit A., Pavate A. & Juraev D.A. (2024). GROUND WATER FLOW MECHANISM CONCEPTUALLY. *Karshi Multidisciplinary International Scientific Journal*, (1).
5. Abd El-Salam H.M., El Shafey A.M., Samadi A. & Abdel-Latif M.K. (2023). Novel Grafted Hydrogel for Iron and Ammonia Removal from Groundwater: A Synthesis and Computational Chemistry Study. *Gels*, 9(10), 781. doi: 10.3390/gels9100781.
6. Fernández-Merino Á., Chávez M., Sánchez-Obreiro G., Madueño R., Blázquez M., Del Caño R. & Pineda T. (2024). Fluorescent Carbon Dots with Red Emission: A Selective Sensor for Fe (III) Ion Detection. *Chemosensors*, 12(11), 226. doi: 10.3390/chemosensors12110226.
7. Исследование возможности применения углеродных сорбентов для очистки природных вод от железа / Гора Н.В. [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. 2024. № 5. С. 5–9. doi: 10.35776/VST.2024.05.01.
8. Способ очистки воды от ионов железа: пат. RU 2815097 C1 : заявл. 11.05.2023; опубл 11.03.2024.
9. ПНД Ф 14Л:2:4.50-96 Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации общего железа в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с сульфосалициловой кислотой. Москва, 2011.
10. Парфит Г. Адсорбция из растворов на поверхности твердых тел // Мир. 1986. 488 с.

Информация об авторах

Н. В. Гора – кандидат технических наук, доцент кафедры «Общей и неорганической химии» Кемеровского государственного университета.

Д. А. Чернышёв – аспирант кафедры «Технологии продуктов питания животного происхождения».

Г. В. Гуринович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технологии продуктов питания животного происхождения».

О. В. Беляева – кандидат химических наук, доцент кафедры «Общей и неорганической химии» Кемеровского государственного университета.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 19 декабря 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 19 Dec 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.

REFERENCES

1. Skolubovich, Yu.L., Kupnickaja, T.A., Tsyba, A.A. (2017). Research of qualitative composition of underground waters of kuzbass. *Vestnik of volga state university of technology. Series: materials. Constructions. Technologies*, (2), 107-115. (In Russ.).
2. Berlinterger, E.S. (2013). Study of the main types of pollution of Kuzbass water resources. *International Journal of Applied and Fundamental Research*, (11), 55. (In Russ.).
3. Tokarenko, O.G. (2012). Groundwater of the central part of Kuzbass: chemical composition within various landscape areas. *Proceedings of Tomsk Polytechnic University. Hydrogeology*, (1), 169-174. (In Russ.).
4. Vanikar, J.C., Mohit, A., Pavate, A. & Juraev, D.A. (2024). GROUND WATER FLOW MECHANISM CONCEPTUALLY. *Karshi Multidisciplinary International Scientific Journal*, (1).
5. Abd El-Salam, H.M., El Shafey, A.M., Samadi, A. & Abdel-Latif, M.K. (2023). Novel Grafted Hydrogel for Iron and Ammonia Removal from Groundwater: A Synthesis and Computational Chemistry Study. *Gels*, 9(10), 781. doi: 10.3390/gels9100781.
6. Fernández-Merino, Á., Chávez, M., Sánchez-Obreiro, G., Madueño, R., Blázquez, M., Del Caño, R. & Pineda, T. (2024). Fluorescent Carbon Dots with Red Emission: A Selective Sensor for Fe (III) Ion Detection. *Chemosensors*, 12(11), 226. doi: 10.3390/chemosensors12110226.
7. Gora, N.V., Belyaeva, O.V., Chernyshyov, D.A., Golubeva, N.S. (2024). Investigation of the possibility of using carbon sorbents to purify natural waters from iron. *Water Supply and Sanitary Technique*, (5), 5-9. (In Russ.). doi: 10.35776/VST.2024.05.01.
8. Gora, N.V., Chernyshev, D.A., Ivanova, L.A., Belyaeva, O.V., Golubeva, N.S., Timoshchuk, I.V., Gorelkina, A.K. (2024). Method for purifying water from iron ions. *Pat. 2815097 C1. Russian Federation, published on 11.03.2024*. (In Russ.).
9. PND F 14L:2:4.50-96 Quantitative chemical analysis of waters. The method of measuring the mass concentration of total iron in drinking, surface and wastewater by photometric method with sulfosalicylic acid. Moscow, 2011.
10. Parfitt, G.D. & Rochester, C.H. (1983). *Adsorption from solution at the solid-liquid interface*. London, N.Y. : Academic Press.

Information about the authors

N.V. Gora - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of General and Inorganic Chemistry of the Kemerovo State University.

D.A. Chernyshev - postgraduate student of the Department of Food Technology of Animal Origin.

G.V. Gurinovich - Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Food Technology of Animal Origin.

O.V. Belyaeva - Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of General and Inorganic Chemistry at Kemerovo State University.

Научная статья

2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)

УДК 66.096.5

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.033

 EDN: SECAIJ

ИССЛЕДОВАНИЕ УНОСА ПЕНТАЭРИТРИТА ПРИ ЕГО ИМПУЛЬСНОМ ПСЕВДООЖИЖЕНИИ

Михаил Степанович Василишин ¹, Анатолий Геннадьевич Карпов ²,
Олег Сергеевич Иванов ³, Сергей Сергеевич Титов ⁴,
Александра Александровна Антонникова ⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН, Бийск, Россия

^{1, 2, 3, 4, 5} osi85@mail.ru

Аннотация. Выполнена экспериментальная оценка влияния некоторых технологических параметров импульсного псевдоожигения слоя пентаэритрита на его унос из рабочей камеры аппарата. Приводится описание лабораторной установки и методика проведения опытов. С применением инструментальных методов определен дисперсный состав пентаэритрита, подвергаемого псевдоожигению. Оценена возможность выноса «мелких» фракций материала из рабочей камеры. Показано, что унос материала возрастает пропорционально увеличению скорости огибающего агента (воздуха). Увеличение частоты пульсации воздуха приводит к значительному снижению уноса. Установлен факт снижения уноса при уменьшении первоначальной высоты слоя материала в рабочей камере. Получена эмпирическая зависимость для расчёта константы скорости уноса. Приводится уравнение для расчёта кинетики процесса. Констатируется удовлетворительная сходимость экспериментальных и расчётных данных по уносу пентаэритрита из пульсирующего слоя. Полученная информация может быть полезной разработчикам технологий обработки дисперсных материалов в системах «газ–твёрдое».

Ключевые слова: пентаэритрит, импульсное псевдоожигение, унос материала.

Для цитирования: Исследование уноса пентаэритрита при его импульсном псевдоожигении / М. С. Василишин [и др.] // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 189–192. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.033. EDN: <https://elibrary.ru/SECAIJ>.

Original article

RESEARCH OF PENTHAERITRITH ABLATION AT ITS PULSING FLUIDIZATION

Mikhail S. Vasilishin ¹, Anatoly G. Karpov ², Oleg S. Ivanov ³,
Sergey S. Titov ⁴, Alexandra A. Antonnikova ⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Institute for Problems Chemical and Energetic Technologies SB RAS, Biysk, Russia

^{1, 2, 3, 4, 5} osi85@mail.ru

Abstract. The experimental estimation of agency of some technological parameters of pulsing fluidization of a pentaerithrith layer on its ablation from the working chamber of the apparatus is executed. The description of the laboratory-scale plant and a technique of conducting experiences is resulted. With application of the instrumental methods the disperse composition of pentaerithrith, subjected to fluidization is defined. Removal possibility of "small" fractions of a material from the working chamber is sized up. It is shown, that material ablation increases proportionally to increase in speed of fluidization agent (air). The increase in a ripple frequency of air leads to considerable decrease in ablation. It's established fact of decrease in ablation at decrease of initial altitude of a material layer in the working chamber. Empirical dependence for calculation of a constant of ablation speed is gained. The equation for calculation of process kinetics is resulted. Satisfactory convergence experimental and design data on pentaerithrith ablation from a pulsing layer is ascertained. The gained information can be useful to development engineers of production engineering of processing of disperse materials in systems "gas-solid".

Keywords: pentaerithrith, pulsing fluidization, material ablation.

For citation: Vasilishin, M.S., Karpov, A.G., Ivanov, O.S., Titov, S.S. & Antonnikova, A.A. (2025). Research of pentaerithrith ablation at its pulsing fluidization. Polzunovskiy vestnik, (3), 189-192. (In Russ). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.033. EDN: <https://elibrary.ru/SECAIJ>.

ВВЕДЕНИЕ

Функционирование технологической аппаратуры с псевдоожигенным (кипящим) слоем неизбежно связано с уносом определённой части обрабатываемого

материала и соответствующим увеличением нагрузки на пылеулавливающее оборудование.

Фактором, влияющим на величину уноса, является положительная разность между рабочей скоростью фильтрации газовой фазы и скоростью витания

© Василишин М. С., Карпов А. Г., Иванов О. С., Титов С. С., Антонникова А. А., 2025

наиболее мелких фракций дисперсного материала [1, 2]. Чем выше эта разность, тем большее количество мелких фракций может быть потенциально выведено из аппарата с потоком оживающего агента.

Вместе с тем, рядом исследований показано [3, 4], что значительное снижение уноса достигается при обработке полидисперсных продуктов в режиме импульсного псевдоожива. В этом случае устойчивое протекание процесса (без каналообразования и застойных зон на газораспределительной решётке аппарата) наблюдается при скорости оживающего агента на 15–20 % меньше, чем при его стационарной подаче, что способствует снижению уноса.

Изучение явления уноса частиц в процессе псевдоожива необходимо как для обоснованного расчёта пылеулавливающего оборудования, так и для оценки возможных потерь дисперсного материала при его обработке. Имеющиеся в литературе сведения по изучению уноса из аппаратуры с пульсирующим слоем носят, в основном, описательный характер и не содержат информации по прогнозу этого параметра, а также влиянию на него режимов обработки дисперсного материала.

Целью настоящей статьи является экспериментальная оценка влияния режимов импульсного псевдоожива слоя пентаэритрита на его унос из технологической аппаратуры.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Пентаэритрит является крупнотоннажным химическим продуктом, находящим применение в производстве алкидных смол, пентафталевых лаков и эмалей, синтетических смазочных масел, а также взрывчатых веществ [5].

Изучение закономерностей уноса пентаэритрита при его импульсном псевдоожива проводили на установке, схема которой представлена на рисунке 1.

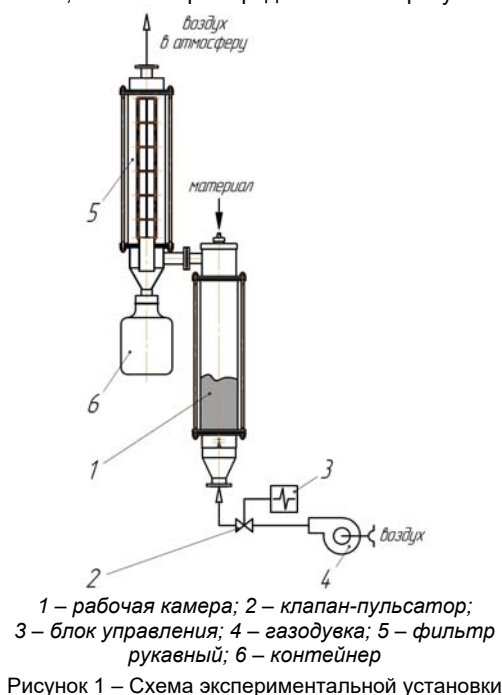


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

1 – working chamber; 2 – pulsator valve; 3 – control unit;
4 – gas blower; 5 – filtersleeve type; 6 – container

Figure 1 – Experimental setup diagram

Исследуемый материал псевдооживался потоком воздуха в рабочей камере 1, выполненной из кварцевого стекла. Внутренний диаметр камеры $D = 0,1$ м, а её высота $H = 0,46$ м. Пульсирующая подача воздуха с заданной частотой при скважности импульса $\psi = 0,5$ обеспечивалась электромеханическим клапаном-пульсатором 2 роторного типа, управляемым от электронного блока 3. Расход воздуха на псевдоожива материала регулировали изменением числа оборотов электродвигателя газодувки 4 на напорном трубопроводе установки. Отрабатанный воздух очищался в рукавном фильтре 5, а уносимый материал собирался в съёмном контейнере 6.

В экспериментах использовался пентаэритрит технический, выпускаемый по ГОСТ9286-2012. Влажность материала определялась с помощью анализатора MB-23 и не превышала 0,1 %. Массу пентаэритрита, загружаемого в рабочую камеру, а также выгружаемого из контейнера уноса оценивали с помощью аналитических весов KERN572-33. Фракционный состав материала определяли оптическим анализатором размеров частиц PIP9.1. Для замера скорости воздуха использовался термоанемометр TESTO-425.

Изучали влияние режимов импульсного псевдоожива пентаэритрита на его унос из рабочей камеры. Пульсирующую подачу воздуха осуществляли с частотой $f = 0,5–5,0$ Гц при высоте неподвижного слоя материала $H_{сл} = 0,05–0,1$ м. Скорость воздуха изменялась в диапазоне $w_n = 0,025–0,1$ м/с. Физические параметры воздуха принимались соответствующими температуре 20 °С.

В рабочую камеру загружали навеску пентаэритрита, после чего материал подвергался псевдоожива в определённом гидродинамическом режиме и оценивалось его количество, собираемое в съёмном контейнере установки после окончания эксперимента. Длительность обработки составляла $t = 1800$ с. Величину уноса материала оценивали в процентах от массы навески в рабочей камере.

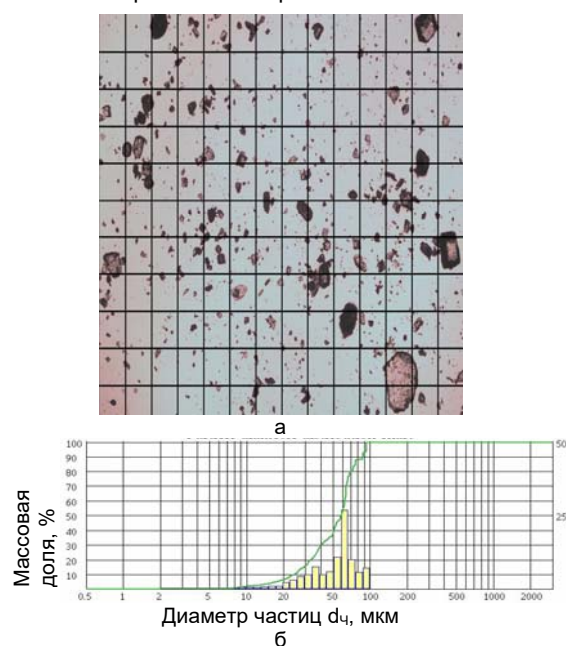


Рисунок 2 – Микрофотография частиц пентаэритрита (x400) и кривые их распределения по размерам

Figure 2 – Micrograph of pentaerythrite particles and their size distribution curves

На рисунке 2 а, б представлены микрофотографии частиц пентаэритрита и кривые их распределения по размерам. Анализ дисперсного состава материала показывает, что деловая фракция с размером частиц $(35,0-90,0) \cdot 10^{-6}$ м составляет около 80 % по массе. На долю «мелкой» фракции $(7,5-16,0) \cdot 10^{-6}$ м приходится до 7 % от общей массы материала. Часть этой фракции потенциально может быть вынесена из слоя, если скорость воздуха превысит скорость витания «мелких» частиц.

Как и ожидалось, наибольшее влияние на унос пентаэритрита оказывает скорость воздуха. Её увеличение (рисунок 3) вызывало пропорциональное возрастание уноса, причём в области низких частот пульсации эта тенденция более ярко выражена, чем при 4,0–5,0 Гц. С увеличением w_{Π} заметно возрастал размер и количество образующихся в слое пузырей, которые, в свою очередь, способствовали увеличению высоты локальных выбросов материала в сепарационное пространство рабочей камеры.

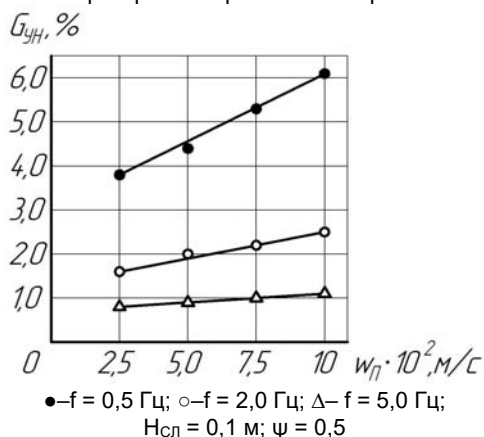


Рисунок 3 – Влияние скорости воздуха (w_{Π}) на величину уноса (G_{UN}) пентаэритрита из слоя

Figure 3 – Effect of air velocity (w_P) on the amount of pentaerythritol entrainment from the layer

Следует отметить и тот факт, что при частотах пульсации 0,5–1,0 Гц расширение слоя было максимальным, в то время как в диапазоне частот 3,0–5,0 Гц слой заметно уплотнялся, что снижало высоту локальных выбросов материала из слоя и, соответственно, величину уноса.

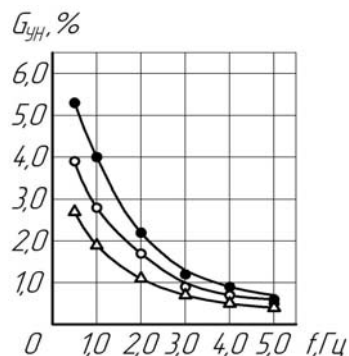
В ряде работ [6–8] показано, что целенаправленное изменение частоты прерывания потока воздуха способно оказывать эффективное воздействие на характер перемешивания материала в слое, а также и на его структуру. Как следует из рисунка 4, при одинаковых значениях w_{Π} величина уноса пентаэритрита с увеличением частоты пульсации заметно снижается и при $f = 4,0-5,0$ Гц достигает минимальных значений.

Полученные данные свидетельствуют о снижении уноса пентаэритрита с уменьшением первоначальной высоты слоя, причём в области частот пульсации 0,5–2,0 Гц оно более заметно, чем при 3,0–5,0 Гц. Снижение уноса может быть объяснено более однородной структурой слоя, имеющей место при таких режимах обработки, а также улучшением газораспределения на решётке рабочей камеры аппарата при повышенной частоте пульсации.

Величину уноса пентаэритрита оценивали с использованием уравнения кинетики, предложенного в [9]:

$$G_{UN} = G_{O0} (1 - \exp(-kt)) / (1 - c_0 \exp(-kt)), \quad (1)$$

где G_0 – масса исходного материала в слое, кг; c_0 – начальная концентрация «мелочи» в слое, доли от 1; k – константа скорости уноса, c^{-1} .



$\Delta - H_{C\Gamma} = 0,05$ м; $\circ - H_{C\Gamma} = 0,075$ м; $\bullet - H_0 = 0,1$ м;
 $w_{\Pi} = 0,075$ м/с; $\psi = 0,5$

Рисунок 4 – Влияние частоты пульсации (f) воздуха на величину уноса (G_{UN}) пентаэритрита из слоя

Figure 4 – Influence of the pulsation frequency (f) of air on the amount of pentaerythritol entrainment (G_{UN}) from the layer

При обработке экспериментальных данных получена эмпирическая зависимость для расчёта k :

$$k = 6,2 \cdot 10^{-4} Fr^{0,23} (0,65 \cdot 10^{-3} / Sth)^{1,5} (H_{C\Gamma} / D)^{-0,64}, \quad (2)$$

где $Fr = w_{\Pi}^2 / (gd')$ – критерий Фруда; $Sth = d_{cf} / w_{\Pi}$ – модифицированный критерий Струхала.

Уравнение (2) справедливо при соблюдении следующих ограничительных условий:

$$0,42 \leq Fr \leq 6,66; 0,27 \leq Sth \leq 10,6; 0,5 \leq H_{C\Gamma} / D \leq 1,0.$$

В состав критерия Фруда входит величина d' , которая устанавливает предельный диаметр частиц пентаэритрита, уносимых из слоя. Согласно [1], она рассчитывается по зависимости:

$$d' = 4,243 (w_{\Pi} \cdot \mu / \rho_{ТВ})^{0,5}, \quad (3)$$

где μ – динамическая вязкость воздуха, Па·с; $\rho_{ТВ}$ – плотность частиц твёрдой фазы, $кг/м^3$ (для пентаэритрита принимали $\rho_{ТВ} = 1394$ $кг/м^3$).

Сравнение экспериментальных и рассчитанных по уравнениям (1)–(3) данных по уносу материала из пульсирующего слоя показывает, что погрешность вычислений не превышала 12–15 %, т.е. они могут использоваться при проведении оценочных расчётов технологического процесса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучено влияние технологических параметров импульсного псевдооживления на унос пентаэритрита из рабочей камеры аппарата. В результате обработки экспериментальных данных предложена эмпирическая зависимость для расчёта константы скорости процесса. Отмечена удовлетворительная сходимость расчётных и экспериментальных данных по уносу материала. Полученная информация может быть полезна проектировщикам технологий обработки дисперсных материалов в системах «газ–твёрдое».

Работа выполнена с использованием оборудования Бийского регионального центра коллективного пользования СО РАН (ИПХЭТ СО РАН, г. Бийск).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гельперин Н.И., Айнштейн В.Г., Кваша В.Б. Основы техники псевдооживления. М.: Химия, 1967, 664 с.
2. Азров М.Э., Тодес О.М. Гидравлические и тепловые основы работы аппаратов со стационарным и кипящим зернистым слоем. Л.: Химия, 1968, 512 с.

3. Бокун И.А., Забродский С.С., Юдицкий В.И. Влияние пульсации газового потока на унос зернистого материала из пульсирующего слоя // Исследование процессов переноса в аппаратах с дисперсными системами. Минск : Наука и техника, 1969, С. 8–11.

4. Алексеев А.Д., Андриянов П.А. Влияние нестационарности газового потока на процессы в псевдоожиженном слое и особенности их аппаратного оформления // Химическое и нефтяное машиностроение. 1970. № 10. С. 27–28.

5. ГОСТ 9286–2012. Пентаэритрит технический. Технические условия : введ. 2013-08-01. Москва, 2013, 19 с.

6. Kobayashi M., Ramaswami D., Brazelton W.T. Pulsed bed approach to fluidization // Chemical Engineering Progress Symposium Series. 1970. v. 66. № 105. p. 47–57.

7. Wong H.W., Baird M.H.I. Fluidization in a pulsed gas flow // Chemical Engineering Journal. 1971. № 2. p. 104–113.

8. Аксёнова Е.Г. Перспективы применения пульсационных резонансных воздействий в технологических процессах с порошкообразными средами // Химическая промышленность. 2004. Т. 81. № 8. С. 381–393.

9. Тодес О.М., Цитович О.Б. Аппараты с кипящим зернистым слоем : Гидравлические и тепловые основы работы. Л. : Химия, 1981, 296 с.

Информация об авторах

М. С. Василишин – доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник Института проблем химико-энергетических технологий СО РАН.

А. Г. Карпов – научный сотрудник Института проблем химико-энергетических технологий СО РАН.

О. С. Иванов – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института проблем химико-энергетических технологий СО РАН.

С. С. Титов – кандидат технических наук, и.о. директора Института проблем химико-энергетических технологий СО РАН.

А. А. Антонникова – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Института проблем химико-энергетических технологий СО РАН.

REFERENCES

1. Gelperin, N.I., Einstein, V.G., Kvasha, V.B. (1967). Fundamentals of fluidization technology. Moscow: Khimiya, 664 p. (In Russ.).

2. Aerov, M.E., Todes, O.M. (1968). Hydraulic and thermal fundamentals of operation of stationary and fluidized granular bed apparatuses. L. : Khimiya, 512 p. (In Russ.).

3. Bokun, I.A., Zabrodsky, S.S., Yuditsky, V.I. (1969). Influence of gas flow pulsation on the removal of granular material from the pulsating layer. Investigation of transfer processes in apparatuses with dispersed systems. Minsk : Science and Technology, pp. 8–11. (In Russ.).

4. Alekseev, A.D., Andrianov, P.A. (1970). The influence of the instability of the gas flow on the processes in the fluidized bed and the features of their installation design // Chemical and petroleum engineering. No. 10. pp. 27–28. (In Russ.).

5. HOST 9286-2012. (2013). Technical pentaerythritol. Technical specifications: introduced 2013-08-01. Moscow, 2013, 19 p. (In Russ.).

6. Kobayashi, M., Ramaswami, D., Brazelton, W.T. (1970). Pulsed bed approach to fluidization. Chemical Engineering Progress Symposium Series. v. 66. No. 105. p. 47–57. (In Russ.).

7. Wong, H.W., Baird, M.H.I. (1971). Fluidization in a pulsed gas flow. Chemical Engineering Journal. No. 2. pp. 104–113. (In Russ.).

8. Aksanova, E.G. (2004). Prospects for the application of pulsation resonance effects in technological processes with powdered media. Chemical industry. vol. 81. No. 8. pp. 381–393. (In Russ.).

9. Todes, O.M., Cytovich, O.B. (1981). Devices with a boiling granular layer: Hydraulic and thermal fundamentals of operation. L. : Khimiya, 296 p. (In Russ.).

Information about the authors

M.S. Vasilishin - doctor of technical sciences, associate professor, main research scientist of the Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies of SB RAS.

A.G. Karpov - research scientist of the Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies of SB RAS.

O.S. Ivanov - candidate of technical sciences, senior research scientist of the Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies of SB RAS.

S.S. Titov - candidate of technical sciences, fulfilling duties of the director in Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies of SB RAS.

A.A. Antonnikova - candidate of physical-mathematical sciences, research scientist of the Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies of SB RAS.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 19 декабря 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 19 Dec 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.



Научная статья
2.6.17 – Материаловедение (технические науки)
УДК 678.743.41

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.034



СОВМЕСТНОЕ ВЛИЯНИЕ БАЗАЛЬТОВЫХ И УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН НА СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

Александр Александрович Ушканов¹, Надежда Николаевна Лазарева²,
Айталиа Алексеевна Охлопкова³, Андрей Петрович Васильев⁴

^{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. Проведены исследование и разработка полимерных композиционных материалов на основе политетрафторэтилена с добавлением базальтовых и углеродных волокон (соотношение 1:1) в диапазоне от 0,1 до 5 масс.%. Результаты исследования показали заметное улучшение характеристик полимерных композитов при совместном использовании волокон. В частности, было выявлено, что прочность композиционных материалов на сжатие увеличивается до 23 % при относительной нагрузке 10 %. Кроме того, износостойкость композитов увеличивается в 91 раз, при этом их коэффициент трения остается на уровне, сопоставимом с ненаполненным полимером. Структурные исследования показали, что при введении наполнителя происходит трансформация надмолекулярной структуры полимера. Волокна находятся в полимере в хаотичном порядке как в объеме материала, так и на поверхности трения композитов. Инфракрасная спектроскопия позволила зафиксировать протекание трибохимических реакций на поверхности трения образцов, что подчеркивает важность данного эффекта для взаимодействия материалов в процессе эксплуатации. Показано повышение термодинамических параметров композитов. Таким образом, разработанные полимерные композиционные материалы обладают уникальными свойствами, что открывает новые перспективы в области использования этих материалов в различных промышленных сферах.

Ключевые слова: политетрафторэтилен, углеродные волокна, полимерный композиционный материал, арматура, связующее, износостойкость, коэффициент трения, прочность.

Для цитирования: Ушканов А. А., Лазарева Н. Н., Охлопкова А. А., Васильев А. П. Совместное влияние базальтовых и углеродных волокон на свойства и структуру политетрафторэтилена // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 193–198. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.034. EDN: <https://elibrary.ru/RONCYG>.

Original article

RESEARCH OF INFLUENCE OF BASALT-CARBON FIBERS ON PROPERTIES OF POLYTETRAFLUOROETHYLENE

Alexander A. Ushkanov¹, Nadezhda N. Lazareva², Aitalina A. Okhlopkova³,
Andrey P. Vasilev⁴

^{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. The research and development of polymer composite materials based on polytetrafluoroethylene with the addition of basalt and carbon fibers (ratio 1:1) in the range from 0.1 to 5 wt.% were conducted. The results of the research showed a noticeable improvement in the characteristics of polymer composites with the combined use of fibers. In particular, it was found that the compressive strength of composite materials increases to 23% at a relative load of 10%. In addition, the wear resistance of the composites increases by 91 times, while their friction coefficient remains at a level comparable to that of the unfilled polymer. Structural studies have shown that the introduction of the filler leads to a transformation of the supramolecular structure of the polymer. The fibers are chaotic in the polymer both in the volume of the material and on the friction surface of the composites. Infrared spectroscopy made it possible to record the occurrence of tribochemical reactions on the friction surface of the samples, which emphasizes the importance of this effect for the interaction of materials during operation. An in-

© Ушканов А. А., Лазарева Н. Н., Охлопкова А. А., Васильев А. П., 2025

crease in the thermodynamic parameters of the composites is shown. Thus, the developed polymer composite materials have unique properties, which opens up new prospects in the field of using these materials in various industrial fields.

Keywords: polytetrafluoroethylene, carbon fibers, polymer composite material, rebar, binder, wear resistance, coefficient of friction, strength.

For citation: Ushkanov, A.A., Lazareva, N.N., Okhlopko, A.A. & Vasilev, A.P. (2025). Research of influence of basalt-carbon fibers on properties of polytetrafluoroethylene. Polzunovskiy vestnik, (3), 193-198. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.034. EDN: <https://elibrary.ru/RONCYG>.

ВВЕДЕНИЕ

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) нередко используются в строительстве и промышленности. Некоторые полимеры обладают высокой устойчивостью к низким температурам, что позволяет им эксплуатироваться даже в условиях сильных морозов. Кроме того, они устойчивы к агрессивным воздействиям окружающей среды, что делает их прекрасным вариантом для создания различных изделий: от трубопровода до деталей машин и оборудования.

Арктический регион имеет большое влияние на весь мир и бескрайний потенциал. Но из-за расположения и климатического условия в Арктике существует проблема эксплуатации технических средств. Незаменимыми материалами для применения в этих условиях являются полимерные материалы, в частности политетрафторэтилен (ПТФЭ). Однако интенсивность износа и хладотекуемость данного полимера оказываются недопустимо высокими. Для направленного улучшения свойств ПТФЭ вводят одновременно несколько наполнителей. Так, в последнее время одним из перспективных направлений становится развитие технологии, связанной с базальтовыми волокнами (БВ).

БВ получают из расплава горных магматических пород. Они обладают высокой прочностью, устойчивостью к высоким температурам и химическим агрессивным средам. Потенциал базальта сравним с другими традиционными стекло- и углеволокнами, и в некоторых случаях даже превосходит благодаря их уникальным свойствам.

Влияние базальтовых волокон на окружающую среду тоже заслуживает внимания. По сравнению с другими материалами, базальтовые волокна являются экологически чистыми и безопасными для здоровья человека. Кроме того, возможность их переработки и повторного использования делает базальтовые волокна привлекательным ресурсом с точки зрения устойчивого развития.

Исследования в области базальтовых волокон продолжаются, и их потенциал для различных отраслей промышленности и строительства все еще не полностью изучен. Вместе с тем, БВ представляют собой перспективный материал, способный значительно улучшить качество и эффективность производства различных изделий и способен конкурировать с другими видами волокон на рынке.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве полимерной матрицы при создании композитов выбран ПТФЭ ПН-90 производства АО «Гало Полимер» (Россия) ТУ 2213-022-13693708-2005, ГОСТ 10007-80.

Наполнители:

Базальтовые волокна получены из нитей ровинга ООО «ТБМ» (Россия). Длина волокон варьируется в интервале от 100 до 400 мкм, а их диаметр – 8–10 мкм. На рисунке 1 наглядно представлена схема получения волокон из нитей.

Углеродные волокна марки «Белум»

ОАО «Светлогорск Химволокно» (Беларусь). Длина филаментов 50–500 мкм, диаметр – 8–10 мкм.

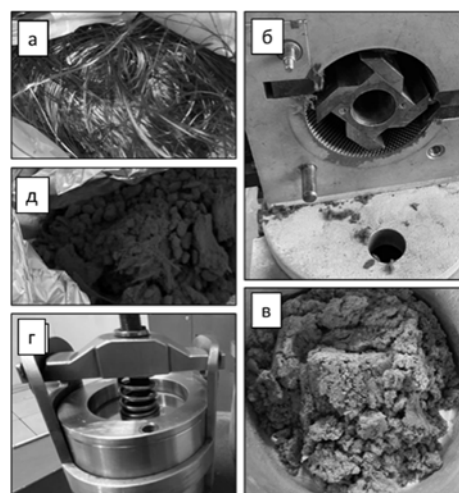


Рисунок 1 – Схема диспергирования базальтовых нитей: а) ровинг; б) режущая мельница; в) рубленые волокна; г) планетарная мельница; д) механически обработанные волокна

Figure 1 – Scheme of dispersion of basalt threads

На рисунке 2 представлена технологическая схема получения композитов, основанная на стандартной технологии переработки ПТФЭ.



Рисунок 2 – Технологическая схема получения ПКМ на основе ПТФЭ

Figure 2 – Technological scheme for obtaining PCM based on PTFE

Этап «калибровка» производили для образцов в виде цилиндров. Данный процесс позволяет повысить износостойкость материала в 1,5 раза.

Деформационно-прочностные характеристики определяли по ГОСТ 11262-2017 и ГОСТ 4651-2014. Скорость подвижного траверса составляли 1 мм/мин при сжатии, 50 мм/мин при растяжении.

Трибоиспытания осуществляли на трибометре

СОВМЕСТНОЕ ВЛИЯНИЕ БАЗАЛЬТОВЫХ И УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН НА СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

по схеме трения «палец-диск». Контртелом служил стальной диск. Время испытания образца – 3 ч., приложенная нагрузка на образец – 160 Н.

Плотность определяли по ГОСТ 15139-69 гидростатическим взвешиванием.

Структурные исследования проводили на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) «JSM-7800F» Jeol (Япония), оптическом микроскопе «Olympus» (Япония), ИК-Фурье спектрометре «FT-IR 7000» Varian (США).

Термодинамические показатели композитов находили с помощью метода дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) на «DSC 204 F1 Phoenix» Netzsch (Германия).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Сравнение микроснимков БВ, приведенных на рисунке 3, показывает, что при увеличении степени диспергирования волокон поверхность их существенно меняется, а именно появлением шероховатости (рисунк 2, б, в).

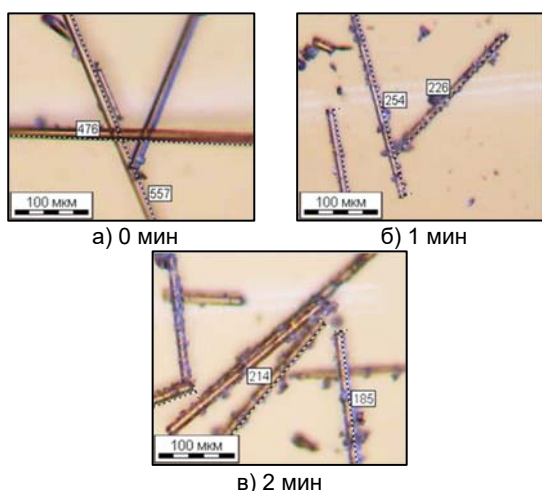


Рисунок 3 – Микроснимки базальтовых волокон в зависимости от времени механоактивации в планетарной мельнице «Активатор 2S», частота преобразователя 35,8 Гц, скорость вращения 2250 об/мин

Figure 3 – Micrographs of basalt fibers depending on the time of mechanical activation in the planetary mill «Activator 2S», converter frequency 35.8 Hz, rotation speed 2250 rpm

Таблица 1 – Результаты механических испытаний

Table 1 – Results of mechanical tests

Композит, масс. %		$\sigma_{сж}, \text{ МПа}$			$\sigma_p, \text{ МПа}$	$\epsilon, \%$	E, МПа
		Нагрузка, %					
		5	10	25			
ПТФЭ		8	13	21	18	394	442
УБ 1:1	0,1	9	15	23	17	325	456
	0,5	12	16	22	16	287	388
	1	13	15	20	19	327	423
	2	13	15	18	15	299	429
	5	13	16	15	16	307	536

Примечание: $\sigma_{сж}$ – прочность при сжатии, МПа; σ_p – предел прочности при растяжении, МПа; ϵ – относительное удлинение при разрыве, %; Е – модуль упругости при растяжении, МПа

Подобные изменения в структуре базальтовых волокон способствуют более крепкому сцеплению на границе раздела фаз «волокно-полимерная матрица». Соответственно, повышаются прочностные параметры, а также долговечность ПКМ на основе ПТФЭ.

В данном разделе приведены результаты исследований композитов на основе ПТФЭ, содержащих углеродные и базальтовые волокна, в соотношении 1:1.

В таблице 1 приведены результаты механических испытаний ПТФЭ и композитов на его основе.

Из таблицы 1 видно, что предел прочности при растяжении ПКМ с увеличением содержания волокон практически остается на уровне ненаполненного ПТФЭ. Невысокие характеристики предела прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве композитов вероятнее всего объяснить разной природой волокон. Так, в работе Кургузовой О.А. [1] было отмечено, что введение в ПТФЭ наполнителей разной природы может приводить к ухудшению данных показателей. Модуль упругости увеличивается на 17 % в отличие от чистого полимера. Из работ [2–3] известно, что увеличение Е с повышением содержания УБ в матрице обусловлено как уменьшением пространства между волокнами, так и возможным возникновением пустот, предпочтительно вблизи волокон, вследствие чего образуется пористая структура.

Результаты испытаний на сжатие показывают, что введение комбинированного наполнителя положительно влияет на повышение прочности полимерного композита.

Для более подробной оценки влияния армирующего наполнителя исследована надмолекулярная структура ПТФЭ и композитов на его основе (рис. 4).

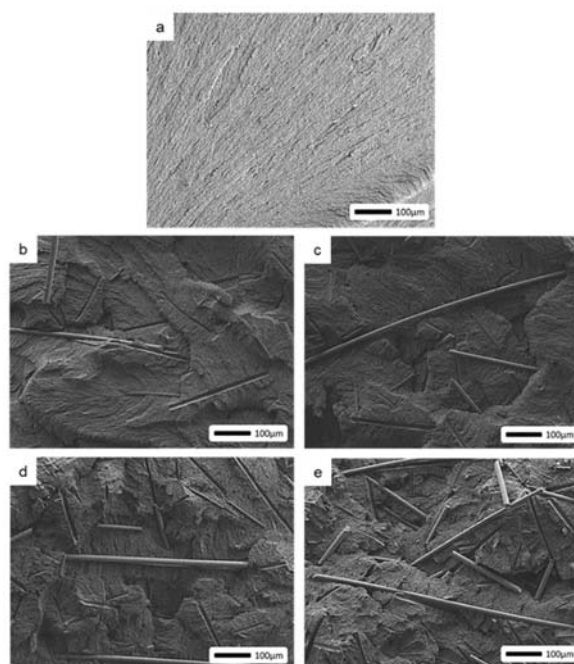


Рисунок 4 – Микрофотографии (при x150) надмолекулярной структуры ПТФЭ и композитов на его основе, содержащей УБ: а) ПТФЭ; б) 0,5 масс. %; в) 1 масс. %; г) 2 масс. %; д) 5 масс. %

Figure 4 – Micrographs (x150) of the supramolecular structure of PTFE and composites based on it, containing CB: а) PTFE; б) 0.5 wt. %; в) 1 wt. %; г) 2 wt. %; д) 5 wt. %

Микрофотографии надмолекулярной структуры ПКМ (рис. 4, б–д) показали, что матрица наполненного ПТФЭ в значительной мере отличается от структуры исходного полимера (рис. 4, а). При содержании 1 масс. % наполнителя УБ (рис. 4, б) наблюдается

структура, характеризующаяся сферической симметрией относительно центра расположения одного конца волокна в матрице. Во всех снимках (рис. 4, б–д) видно, что матрица пронизана волокнами в различных направлениях, что является основной причиной образования армированной структуры. Формирование такой структуры в ПКМ придает материалу жесткость и, как следствие, для материала характерна высокая прочность на сжатие и высокая износостойкость [4].

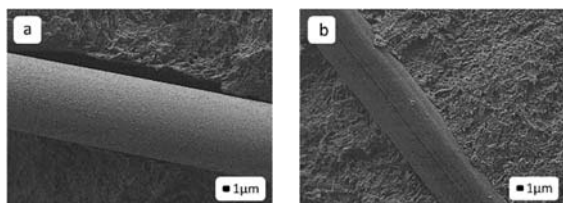


Рисунок 5 – Микрофотографии (при $\times 3000$) надмолекулярной структуры композита на основе ПТФЭ с 1 масс. % УБ в границе полимер-наполнитель: а) базальтовое волокно; б) углеродное волокно

Figure 5 – Micrographs ($\times 3000$) of the supramolecular structure of a composite based on PTFE with 1 wt.% CB in the polymer-filler interface: a) basalt fiber; b) carbon fiber

Из рисунка 5 можно рассмотреть, что на межфазной границе «базальтовое волокно – ПТФЭ» фибрилл полимерной матрицы не зафиксировано, что свидетельствует о слабом адгезионном взаимодействии между полимером и наполнителем. В случае с углеродным волокном, наоборот, можно заметить плотно обволакивающую волокно матрицу, тем самым пустоты не наблюдаются.

В таблице 2 приведены результаты трибологических испытаний ПТФЭ и ПКМ на его основе.

Таблица 2 – Исследования трибологических характеристик и плотности

Table 2 – Research of tribological characteristics and density

2. Research of technological characteristics and dens					
Композит, масс. %		Δm , г	I , мг/ч	f	ρ , г/см ³
ПТФЭ		0,154	51,39	0,23	2,15
УБ 1:1	0,1	0,153	51,05	0,17	2,19
	0,5	0,017	5,85	0,23	2,22
	1	0,008	2,72	0,25	2,18
	2	0,003	0,94	0,25	2,18

Примечание: Δm – массовый износ, г; I – скорость массового изнашивания, мг/ч; f – коэффициент трения; ρ – плотность, г/см³

Анализ полученных данных из таблицы 2 показал, что увеличение содержания УБ способствует формированию устойчивой к трению структуры (слоя) на поверхности композита. Так, скорость массового изнашивания уменьшается в 91 раз при сохранении исходного значения коэффициента трения. Монотонное повышение значения плотности ПКМ с увеличением содержания наполнителя, возможно, связано с тем, что базальтовое волокно характеризуется наиболее высокой плотностью от 2,6 до 2,8 г/см³ по сравнению с углеродным 1,45 г/см³ [5].

На рисунке 6 представлены микроснимки поверхности трения ПТФЭ и ПКМ на его основе, которые были исследованы методом оптической микроскопии.

На поверхности композитов после трения (рис. 6, б–е) обнаружены частично разрушенные волокна, но в композитах, наполненных от 2 до 5 масс. % УБ, волокна

практически остаются неповрежденными. Микроснимки поверхностей трения ПКМ на основе ПТФЭ показывают на присутствие так называемого эффекта армирования: это когда волокна, концентрируясь на поверхности трения материалов, образуют защитную структуру, предохраняющую от разрушения. В работах [6–7] отмечено, что повышение износостойкости может быть обусловлена распределением передаваемых от контртела на волокна сжимающих и сдвиговых нагрузок. Как видно из рисунка 6, е, значительного изнашивания поверхности ПКМ в процессе трения не наблюдается. Отсюда следует, что особенно высокая износостойкость характерна для ПКМ с 5 масс. % наполнителя, что подтверждается результатами трибологических испытаний (табл. 2) и формированием высокоармированной структуры (рис. 4, е).

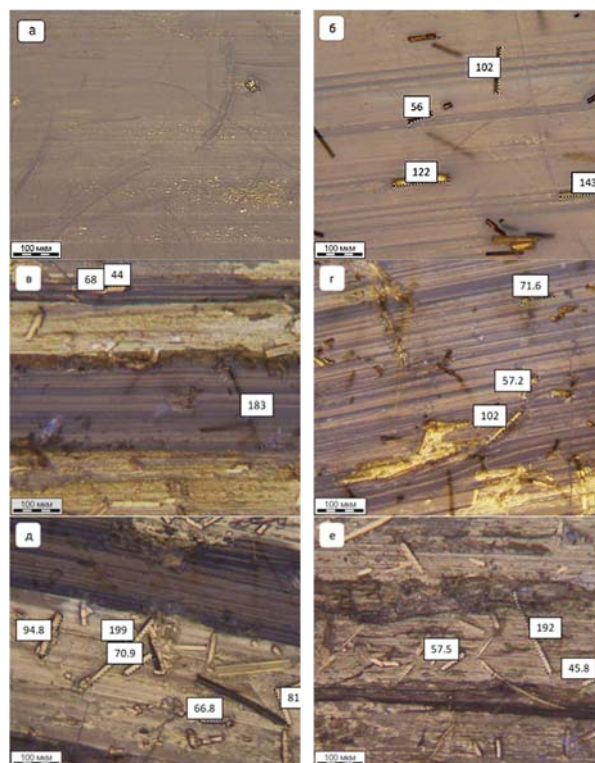


Рисунок 6 – Микроснимки поверхности трения ПТФЭ и композитов на его основе, содержащих УБ: а) ПТФЭ; б) 0,1 масс. %; в) 0,5 масс. %; г) 1 масс. %; д) 2 масс. %; е) 5 масс. %

Figure 6 – Micrographs of the friction surface of PTFE and composites based on it containing CB: a) PTFE; b) 0.1 wt. %; c) 0.5 wt. %; d) 1 wt. %; e) 2 wt. %; f) 5 wt. %

Для изучения процессов, происходящих до и после трения ПТФЭ и ПКМ на его основе, использовали метод ИК спектроскопии (рис. 7).

Из рисунка 7 обнаружено, что наиболее интенсивные полосы относятся к валентным колебаниям группы CF_2 (1201 см⁻¹ и 1147 см⁻¹). Слабовыраженные пики при 2922 см⁻¹, 2853 см⁻¹ и 1430 см⁻¹ характерны для валентных и деформационных колебаний CH_2 -группы. После трения зарегистрированы полосы при 1657 см⁻¹, которые характеризуют скелетные колебания $C=C$ связи. В работе [8] указано, что данные пики являются характеристическими пиками базальтового волокна, т.к. при производстве этих волокон используется замасливающий, в состав которого входит терпеновое масло. Наблюдаются интенсивные широкие полосы в

СОВМЕСТНОЕ ВЛИЯНИЕ БАЗАЛЬТОВЫХ И УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН НА СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

частотах от 2800 см⁻¹ до 3500 см⁻¹, которые отвечают валентным колебаниям ОН-группы. На протекание окислительных процессов зрительно указывает проявление коричневого налета на поверхности трения композитов [9].

Также исследовали термодинамические параметры методом ДСК (рис. 8).

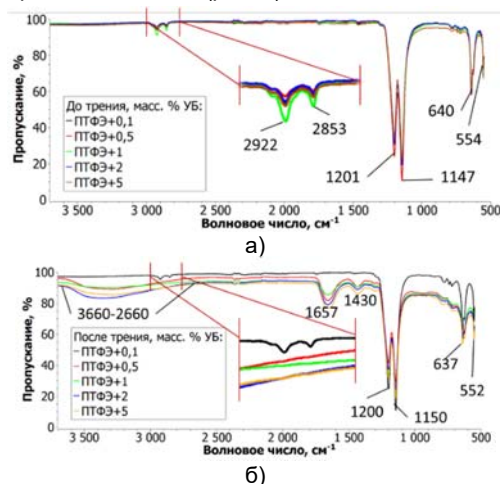


Рисунок 7 – ИК-спектры поверхностей ПТФЭ и ПКМ на его основе: (А) до и (Б) после трения

Figure 7 – IR spectra of PTFE and PCM surfaces based on it: (A) before and (B) after friction

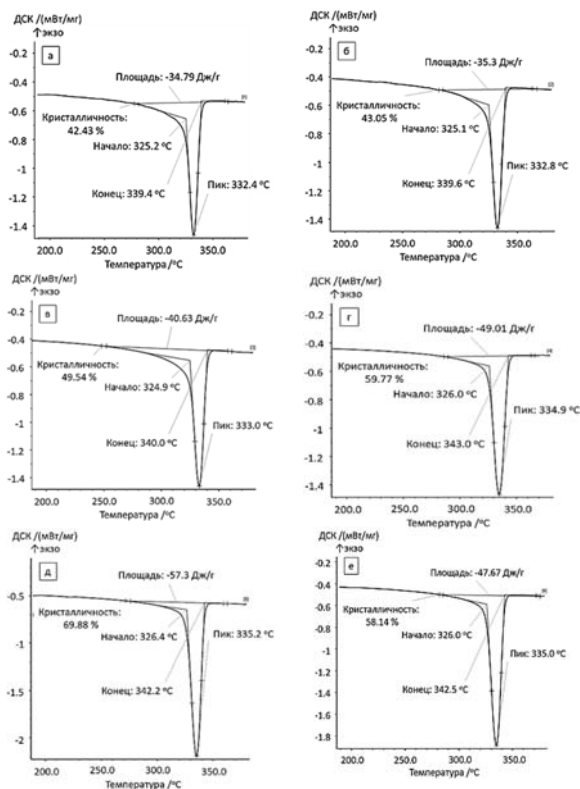


Рисунок 8 – Экспериментальные кривые ПТФЭ и его композитов, содержащие УБ: а) ПТФЭ; б) 0,1 масс. %; в) 0,5 масс. %; г) 1 масс. %; д) 2 масс. %; е) 5 масс. %

Figure 8 – Experimental curves of PTFE and its composites containing CB: а) PTFE; б) 0.1 wt. %; в) 0.5 wt. %; д) 1 wt. %; д) 2 wt. %; е) 5 wt. %

Из экспериментальных кривых ДСК (рис. 8) определяли $T_{пл}$, $\Delta H_{пл}$, $\Delta S_{пл}$, которые представлены в таблице 3.

Степень кристалличности α рассчитывали по уравнению (1):

$$\alpha = \frac{\Delta H_m}{\Delta H_m^0} \times 100\%, \quad (1)$$

где ΔH_m – экспериментально найденное значение энтальпии плавления, Дж/г;

ΔH_m^0 – табличное значение энтальпии плавления полимера со 100%-ной степенью кристалличности, которое равно 82 Дж/г [10].

Таблица 3 – Результаты исследований термодинамических параметров

Table 3 – Results of studies of the thermodynamic parameters

Композит, масс. %		$\Delta H_{пл},$ Дж/г	$T_{пл},$ К	$\Delta S_{пл},$ Дж/г	$\alpha, \%$
ПТФЭ		34,79	605,4	0,057	42,43
УБ 1:1	0,1	35,30	605,8	0,058	43,05
	0,5	40,63	606,0	0,067	49,54
	1	49,01	607,9	0,080	59,77
	2	57,30	608,2	0,094	69,88
	5	47,67	608,0	0,078	58,14

Примечание: $\Delta H_{пл}$ – энтальпия плавления, Дж/г; $T_{пл}$ – температура плавления, К; $\Delta S_{пл}$ – энтропия плавления, Дж/г; α – степень кристалличности, %

Из таблицы 3 зафиксировано увеличение значений энтальпии плавления и степени кристалличности композитов. В работе [11] показано, что высокую стойкость к износу имеют композиты с высокой упорядоченностью в структурной организации: чем выше $\Delta H_{пл}$, тем система становится более упорядоченной и, следовательно, больше перестроений макромолекул при расплавлении ПКМ. Увеличение энтропии при введении армирующего наполнителя в полимерную матрицу демонстрирует повышение молекулярной подвижности макромолекул ПТФЭ.

ВЫВОДЫ

Установлено, что в процессе трения волокна локализируются на поверхности трения, предохраняя материал от изнашивания и разрушения. Методами ИК-спектроскопии и дифференциальной сканирующей калориметрии зарегистрировано протекание трибохимических реакций на поверхностях трения ПКМ и увеличение их термодинамических параметров. Показана перспективность использования базальтовых и углеродных волокон в качестве комбинированного наполнителя ПТФЭ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ № FSRG-2024-0004.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Кургузова О.А. Разработка износостойкого нано-композита на основе политетрафторэтилена с целью повышения работоспособности и долговечности металлополимерных герметизирующих свойств: дис. ... канд. тех. наук. Омск, 2014. 107 с.
- Никулин С.С., Пугачева И.Н., Черных О.Н. Композиционные материалы на основе наполненных бутадиен-стирольных каучуков, Москва. 2008. 145 с.;
- Маркова П.Н., Петрова П.Н., Федоров А.Л. Исследование трибологических свойств полимерных композитов на основе ПТФЭ в режиме сухого трения и в среде жидких смазок // Техника и технологии. 2022. № 15 (5). С. 569–582.
- Базальтофторопластовые композиты антифрикционного назначения / А.А. Охлопкова [и др.] // Вестник СВФУ. 2013. Т. 10. № 5. С. 30–36.

5. 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.

6. Алексенко В.О. Износостойкие композиты на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена с армирующими волокнами для полимер-металлических трибосопряжений в машиностроении: дис. ... канд. тех. наук, Томск, 2019. 132 с.

7. Механические и триботехнические характеристики многокомпонентных твердосмазочных композитов на матрице сверхвысокомолекулярного полиэтилена / С.В. Панин [и др.] // Известия вузов: Химия и химическая технология. 2018. № 11 (61). С. 88–95.

8. Охлопкова А.А., Васильев С.В., Гоголева О.В. Исследование влияния базальтового волокна на физико-механические и триботехнические характеристики композитов на основе политетрафторэтилена // Арктика. XXI век. 2014. № 1 (2). С. 11–19.

9. Лазарева Н.Н. Разработка триботехнических материалов на основе политетрафторэтилена и механоактивированных слоистых силикатов: дис. ... канд. тех. наук, Казань, 2019. 173 с.

10. Ситникова В.Е., Пономарева А.А., Успенская М.В. Методы термического анализа. Практикум. СПб.: Университет ИТМО, 2021. 152 с.

11. Кропотин О.В., Машков Ю.К., Егорова В.А., Кургузова О.А. Разработка полимерных композитов триботехнического назначения с микроразмерными модификаторами // Омский научный вестник. 2013. № 2 (120). С. 91–94.

Информация об авторах

А. А. Ушканов – младший научный сотрудник лаборатории «Полимерные композиты для Севера» 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, профессор 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. Kurguzova, O.A. (2014). Razrabotka iznosostojkogo nanokompозита na osnove politetraftoretilena s cel'yu povysheniya rabotosposobnosti i dolgovechnosti metallopolimernykh germetiziruyushchih svoystv. Extended abstract of candidate's thesis. Omsk. (In Russ.).

2. Nikulin, S.S., Pugacheva, I.N., CHernykh, O.N. Kompozitsionnye materialy na osnove napolnennykh butadienstirolnykh kauchukov, Moskva. 2008. 145.

3. Markova, M.A. Petrova, P.N. & Fedorov, A.L. (2022). Issledovanie tribologicheskikh svoystv polimernykh kompozitov na osnove PTFE v rezhime suhogo treniyai v srede zhidkikh smazok. Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. 15 (5). 569-582. (In Russ.).

4. Okhlopko, A.A., Vasilev, S.V., Petrova, P.N., Fedorov, A.L. & Tuisov, A.G. (2013). Bazal'toftoroplastovye kompozity antifrakcionnogo naznacheniya. Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta imeni M.K. Ammosova, 10 (5). 30-36. (In Russ.).

5. Vasilev, A.P. (2021). Razrabotka polimernykh kompozitsionnykh materialov na osnove politetraftoretilena s uglerodnymi voloknami i prirodnyimi napolnitelyami: kaolinom i vermikulitom. Extended abstract of candidate's thesis. Kazan. (In Russ.).

6. Aleksenko, V.O. (2019). Iznosostojkie kompozity na osnove sverkhvysokomolekulyarnogo olietilena s armiruyushimi voloknami dly apolimer-metallicheskih tribosopryazhenij v mashinostroenii: Extended abstract of candidate's thesis. Tomsk. (In Russ.).

7. Panin, S.V., Aleksenko, V.O., Kornienko, L.A., Buslovich, D.G. & Valentyukovich, N.N. (2018). Mekhanicheskie i tribotekhnicheskie kharakteristiki mnogokomponentnykh tverdosmazochnykh kompozitov na matrice sverkhvysokomolekulyarnogo polietilena. Izvestiya vuzov: Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya. No. 11 (61). 88-95. (In Russ.).

8. Okhlopko, A.A., Vasilev, S.V. & Gogoleva, O.V. (2014). Issledovanie vliyaniya bazal'tovogo volokna na fiziko-mekhanicheskie i tribotekhnicheskie kharakteristiki kompozitov na osnove politetraftoretilena. Arktika. XXI vek. No. 1 (2). 11-19. (In Russ.).

9. Lazareva, N.N. (2019). Razrabotka tribotekhnicheskikh materialov na osnove politetraftoretilena i mekhanooaktivirovannykh sloistykh silikatov. Extended abstract of candidate's thesis. Kazan. (In Russ.).

10. Sitnikova, V.E., Ponomareva, A.A. & Uspenskaya, M.V. (2021). Metody termicheskogo analiza. Praktikum. SPb.: Universitet ITMO. 152. (In Russ.).

11. Kropotin, O.V., Mashkov, Yu.K., Egorova, V.A. & Kurguzova, O.A. (2013). Razrabotka polimernykh kompozitov tribotekhnicheskogo naznacheniya s mikrorazmernymi modifikatorami. Omskiy nauchnyy vestnik. No. 2 (120). 91-94. (In Russ.).

Information about the authors

A.A. Ushkanov - Junior researcher of the the laboratory «Polymer composites for the North», 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. Okhlopko - Doctor of Technical Sciences, professor of the 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 19 декабря 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 19 Dec 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.



Научная статья
2.6.17 – Материаловедение (технические науки)
УДК544.47

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.035



ВОДОРОДГЕНЕРИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ АММИНБОРАНА И ЭТИЛЕНДИАМИНБИСБОРАНА: СРАВНЕНИЕ КИНЕТИКИ РЕАКЦИИ ГИДРОЛИЗА

Анна Михайловна Озерова ¹, Наталья Андреевна Данилова ²,
Оксана Валентиновна Комова ³, Валентина Ильинична Симагина ⁴,
Ольга Владимировна Нецкина ⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} ФГБУН ФИЦ Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Новосибирск, Россия

² ФГАОУ ВО Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Новосибирск, Россия

¹ ozerova@catalysis.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4747-6714>

² n.danilova1@g.nsu.ru, <https://orcid.org/0009-0003-7035-0938>

³ komova@catalysis.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4071-2016>

⁴ simagina@catalysis.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2324-2363>

⁵ netskina@catalysis.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2323-7372>

Аннотация. В статье изложены результаты сопоставительных исследований кинетики каталитического гидролиза борсодержащих гидридов: амминборана (АБ) и этилендиаминбисборана (ЭДББ). Исследования проводились в идентичных условиях при температурах от 20 до 50 °С. В качестве катализатора использовалась оксидная композиция $\text{CuO-Co}_3\text{O}_4$, синтезированная методом горения цитрат-нитратного предшественника. Для расчета кинетических параметров была применена модель Ленгмюра-Хиншельвуда, которая позволяет учесть влияние процесса адсорбции гидрида на поверхности катализатора. Результаты показали, что скорости выделения водорода при гидролизе АБ выше, чем в случае ЭДББ. Тем не менее, рассчитанные значения энергии активации оказались близкими: $59,9 \pm 0,8$ кДж/моль для гидролиза АБ и 55 ± 2 кДж/моль для гидролиза ЭДББ. Было установлено, что более высокая скорость гидролиза АБ связана с его более эффективной адсорбцией на активных центрах катализатора. Так, оптимизированная величина константы адсорбции для АБ составляет $18,5$ (моль/л)⁻¹, в то время как для ЭДББ она ниже и равна 8 (моль/л)⁻¹, что, вероятно, связано со структурными и электронными характеристиками его молекулы.

Ключевые слова: амминборан, этилендиаминбисборан, гидролиз гидридов, получение водорода, хранение водорода, кинетика Ленгмюра-Хиншельвуда, адсорбция, энергия активации, катализатор.

Благодарности: Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания Института катализа СО РАН (проект FWUR-2024-0034). Авторы благодарят О.А. Булавченко за исследование образцов методом РФА.

Для цитирования: Водородгенерирующие материалы на основе амминборана и этилендиаминбисборана: сравнение кинетики реакции гидролиза / А. М. Озерова [и др.] // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 199–192. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.034. EDN: <https://elibrary.ru/QNBGYR>.

Original article

HYDROGEN GENERATING MATERIALS BASED ON AMMONIA BORANE AND ETHYLENEDIAMINE BISBORANE: COMPARISON OF HYDROLYSIS REACTION KINETICS

Anna M. Ozerova ¹, Natalya A. Danilova ², Oksana V. Komova ³,
Valentina I. Simagina ⁴, Olga V. Netskina ⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Boreskov Institute of Catalysis SB RAS, Novosibirsk, Russia

⁵ Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

¹ ozerova@catalysis.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4747-6714>

² n.danilova1@g.nsu.ru, <https://orcid.org/0009-0003-7035-0938>

³ komova@catalysis.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4071-2016>

⁴ simagina@catalysis.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2324-2363>

⁵ netskina@catalysis.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2323-7372>

Abstract. The article presents the results of a comparative study of the kinetics of catalytic hydrolysis of boron-containing hydrides: ammonia borane (AB) and ethylenediamine bisborane (EDBB). The experiments were conducted

© Озерова А. М., Данилова Н. А., Комова О. В., Симагина В. И., Нецкина О. В., 2025

under identical conditions within a temperature range of 20 to 50 °C. The catalyst used was a copper-cobalt oxide composition ($\text{CuO-Co}_3\text{O}_4$) synthesized through the combustion of acitrate-nitrate precursor. To calculate the kinetic parameters, the Langmuir-Hinshelwood model was applied, which allows taking into account the influence of the hydride adsorption process on the catalyst surface. The results showed that the hydrogen evolution rates during the hydrolysis of AB are higher than those observed for EDBB. However, the calculated activation energy values were found to be comparable: 59.9 ± 0.8 kJ/mol for AB hydrolysis and 55 ± 2 kJ/mol for EDBB hydrolysis. It was found that the higher rate of AB hydrolysis is associated with its more efficient adsorption on the active sites of the catalyst. Specifically, the optimized adsorption constant for AB is 18.5 (mol/L) $^{-1}$, whereas for EDBB, it is lower at 8 (mol/L) $^{-1}$, which is likely related to the structural and electronic characteristics of its molecule.

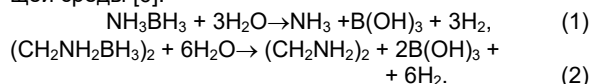
Keywords: ammonia borane, ethylenediamine bisborane, hydrolysis of hydrides, hydrogen production, hydrogen storage, Langmuir-Hinshelwood kinetics, adsorption, activation energy, catalyst.

Acknowledgements: This work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the governmental order for Boreskov Institute of Catalysis (project FWUR-2024-0034). The authors are grateful to O.A. Bulavchenko for the study of samples by XRD.

For citation: Ozerova, A.M., Danilova, N.A., Komova, O.V., Simagina, V.I. & Netskina, O.V. (2025). Hydrogen generating materials based on ammonia borane and ethylenediamine bisborane: comparison of hydrolysis reaction kinetics. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 199-192. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.035. EDN: <https://elibrary.ru/QNBGYR>.

ВВЕДЕНИЕ

Водород рассматривается как перспективное топливо нового поколения. Тем не менее, развитие водородной энергетики требует решения вопросов, связанных с его хранением и транспортировкой. Использование H_2 в сжатой газообразной или сжиженной форме не отвечает требованиям безопасности и компактности. В этой связи активно разрабатываются системы, основанные на его запасании в адсорбированном или химически связанном состояниях [1–3]. Например, значительное внимание уделяется исследованиям твердых гидридных соединений, среди которых амминборан (AB , NH_3BH_3) и этилендиаминбисборан (ЭДББ , $(\text{CH}_2\text{NH}_2\text{BH}_3)_2$) отличаются высоким содержанием водорода по массе (19,6 и 16,3 мас.%, соответственно) [4–5]. Высокая устойчивость к влаге воздуха делает их перспективными для хранения и генерации водорода в мобильных энергоустановках на основе топливных элементов. Широко изучается каталитический гидролиз этих гидридов, поскольку позволяет получать H_2 при температурах окружающей среды [6]:



Катализатор является необходимым инструментом управления генерацией H_2 . Оксидные каталитические композиции $\text{CuO-Co}_3\text{O}_4$ широко изучаются в процессе гидролиза AB [7, 8]. Одним из перспективных методов их синтеза заявлено применение метода горения органометаллических предшественников [9, 10]. Кроме того, было опубликовано первое сообщение о каталитической активности $\text{CuO-Co}_3\text{O}_4$ в гидролизе ЭДББ [11].

Эффективным способом исследования кинетики гидролиза борсодержащих гидридов на гетерогенных катализаторах является аппроксимация экспериментальных данных с использованием различных кинетических моделей (формальная кинетика нулевого, первого порядков и др.). Наиболее предпочтительным является применение модели Ленгмюра-Хиншельвуда, ключевой стадией которой является адсорбция молекул гидрида на поверхности катализатора. После этого происходит взаимодействие адсорбированных молекул с водой с выделением водорода [12, 13]. Данный подход применяется для описания кинетики каталитического гидролиза AB [9, 14] и ЭДББ [15].

В данной работе был синтезирован оксидный

катализатор $\text{CuO-Co}_3\text{O}_4$ методом горения цитрат-нитратной композиции. Была изучена его активность в процессах гидролиза AB и ЭДББ в температурном диапазоне 20–50 °C. Полученные экспериментальные данные были описаны в рамках модели Ленгмюра-Хиншельвуда, рассчитаны и сопоставлены кинетические параметры. Таким образом, впервые было проведено сравнительное исследование кинетических закономерностей гидролиза борсодержащих гидридов различного строения – амминборана и этилендиаминбисборана.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Кинетику выделения H_2 в ходе каталитического гидролиза AB и ЭДББ исследовали волюмометрическим методом в стеклянном термостатированном реакторе при 20–50 °C и магнитном перемешивании (750 об/мин). В разогретый реактор последовательно добавляли 10 мл дистиллированной воды, навеску гидрида и 11,7 мг катализатора и герметизировали систему. Выделяющийся газ через обратный холодильник поступал в газовую бюретку, где автоматически фиксировалось давление с помощью датчика Sendeo sensor SS312 с пересчетом в мл (н.у.) по калибровке. Навески гидридов составляли: AB – 38 мг и ЭДББ – 54 мг. Исходная концентрация В-Н связей в реакционной среде была приблизительно одинаковой – 0,33 моль/л для AB и 0,30 моль/л для ЭДББ .

В качестве катализатора использовали $\text{CuO-Co}_3\text{O}_4$ композицию, полученную методом горения. 2,326 г $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$, 5,820 г $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и 1,495 г лимонной кислоты растворяли в 50 мл воды при комнатной температуре, полученный раствор медленно упаривали с перемешиванием при заданной температуре нагревательной поверхности (T_{set}) 80 °C в течение 8 ч. Далее сушку геля проводили в вакуумном шкафу при 60 °C в течение 8 ч. Сжигание полученного фиолетового порошка проводили в стеклянном стакане при постепенном повышении T_{set} до 500 °C. В районе 350 °C наблюдали инициирование самопроизвольного процесса горения с высокой скоростью распространения по слою предшественника.

Рентгенофазовый анализ (РФА) был выполнен на дифрактометре STOE Stadi в просвечивающей геометрии в диапазоне углов 2–50° с шагом по $2\theta = 0,015^\circ$ с применением линейного детектора Mythen 2 1K. Использовалось $\text{MoK}_{\alpha 1}$ излучение ($\lambda = 0,709$ Å). Фазовый анализ был проведен методом Ритвелда. Средние размеры областей когерентного рассеяния (ОКР) рассчи-

ВОДОРОДГЕНЕРИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ АММИНБОРАНА И ЭТИЛЕНДИАМИНБИСБОРАНА: СРАВНЕНИЕ КИНЕТИКИ РЕАКЦИИ ГИДРОЛИЗА

тавались по формуле Шеррера по рефлексам 002 CuO и 311 Co₃O₄.

Изображения сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) были получены с помощью микроскопа JSM-6460 LV. Картирование элементов по поверхности проведено с использованием энергодисперсионного спектрометра INCA Energy-350.

Удельную поверхность определяли по тепловой десорбции азота.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Используемый в данной работе CuO-Co₃O₄ катализатор представляет собой смесь оксидов 24 мас.% CuO и 76 мас.% Co₃O₄ с размером кристаллитов 20 и 31 нм, соответственно (табл. 1). При этом частицы оксидов, по данным СЭМ с картированием элементов (рис. 1), находятся в тесном контакте друг с другом. Удельная поверхность CuO-Co₃O₄ составляет 19,6 м²/г.

Таблица 1 – Данные РФА для исходной CuO-Co₃O₄ композиции и испытанной в реакции каталитического гидролиза АБ

Table 1 – XRD data for the initial CuO-Co₃O₄ and after it test in the catalytic hydrolysis of AB.

Образец CuO-Co ₃ O ₄	Фазовый состав, мас. %	Размер кристаллита, нм
исходный	24% CuO 76% Co ₃ O ₄	20 31
после гидролиза АБ, 40 °С	19% CuO 81% Co ₃ O ₄	18 28

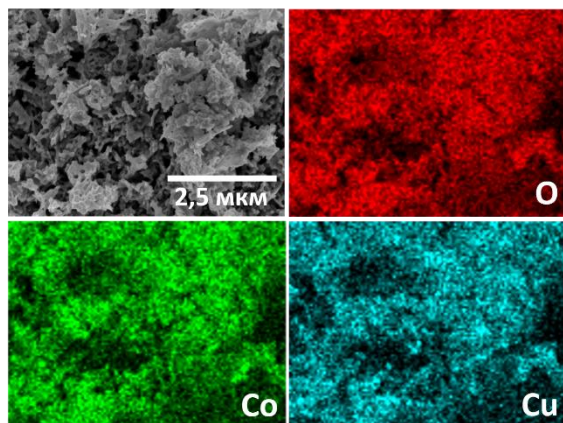


Рисунок 1 – Данные СЭМ для исходной композиции CuO-Co₃O₄ с картированием по O, Co и Cu

Figure 1 – SEM data for the initial CuO-Co₃O₄ with O, Co and Cu mapping

Результаты исследования кинетики гидролиза АБ и ЭДББ в присутствии CuO-Co₃O₄ катализатора в зависимости от температуры процесса приведены на рисунке 2. Из представленных данных видно, что скорость выделения H₂ при гидролизе АБ выше, чем при гидролизе ЭДББ. Кроме того, как и ожидалось, скорость реакции увеличивается с повышением температуры. При этом также увеличивается выход водорода, что может быть связано с меньшей реакционной способностью адсорбированных промежуточных комплексов при низких температурах. Также стоит отметить, что на начальном участке кинетических кривых присутствует индукционный период (особенно при низких температурах), во время которого выделение H₂ незначительно. Он связан со временем, необходимым для активации оксида в восстановительной среде гидрида с формированием катали-

тически-активных центров [16]. Как видно из таблицы 1, фазовый состав используемой оксидной композиции после её применения в гидролизе АБ не изменился, за исключением незначительного снижения содержания CuO, обусловленного его частичным восстановлением в реакционной среде под действием гидрида.

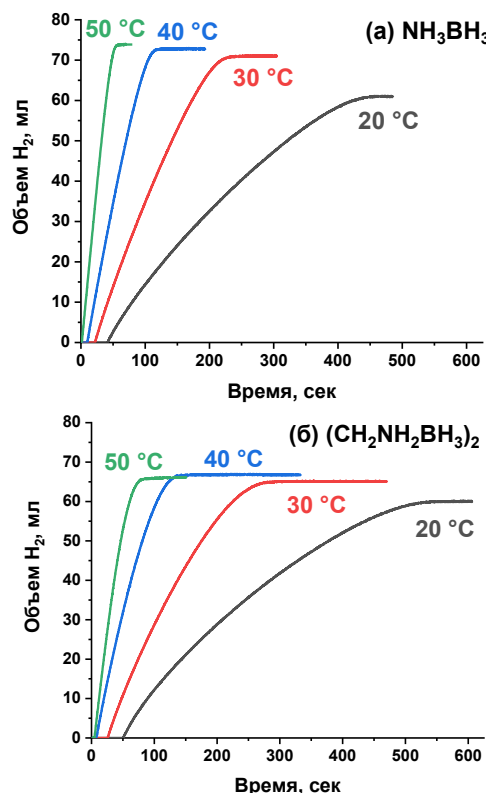


Рисунок 2 – Выделение H₂ при каталитическом гидролизе АБ (а) и ЭДББ (б)

Figure 2 – H₂ release during the catalytic hydrolysis of (a) AB and (b) EDBB

Полученные зависимости выделения водорода от времени (рис. 2) были аппроксимированы с использованием модели Ленгмюра-Хиншельвуда, которая традиционно используется для процессов каталитического гидролиза гидридов, осуществляемых в разбавленных растворах [12, 13]. Согласно данной кинетической модели, на первом этапе происходит адсорбция молекул гидрида и воды на активных центрах катализатора, после чего происходит реакция между адсорбированными частицами с выделением водорода. В условиях избытка H₂O скорость такого процесса может быть выражена уравнением [12]:

$$-\frac{dC_{\text{гидр}}}{dt} = k \cdot \frac{K_a \cdot C_{\text{гидр}}}{1 + K_a \cdot C_{\text{гидр}}}, \quad (3)$$

где C_{гидр} – текущая концентрация гидрида, моль/л; k – константа скорости реакции каталитического гидролиза гидрида, моль/(л·с), K_a – равновесная константа адсорбции гидрида, (моль/л)⁻¹. Учитывая, что константа адсорбции слабо меняется в пределах небольшого температурного диапазона 20–50 °С, её расчет проводили путем минимизации функции [17]:

$$\min_{K_a} f(K_a) = (1 - R_{20^\circ\text{C}}^2) + (1 - R_{50^\circ\text{C}}^2), \quad (4)$$

где R² – коэффициент детерминации. Полученные зависимости представлены на рисунке 3 б, д.

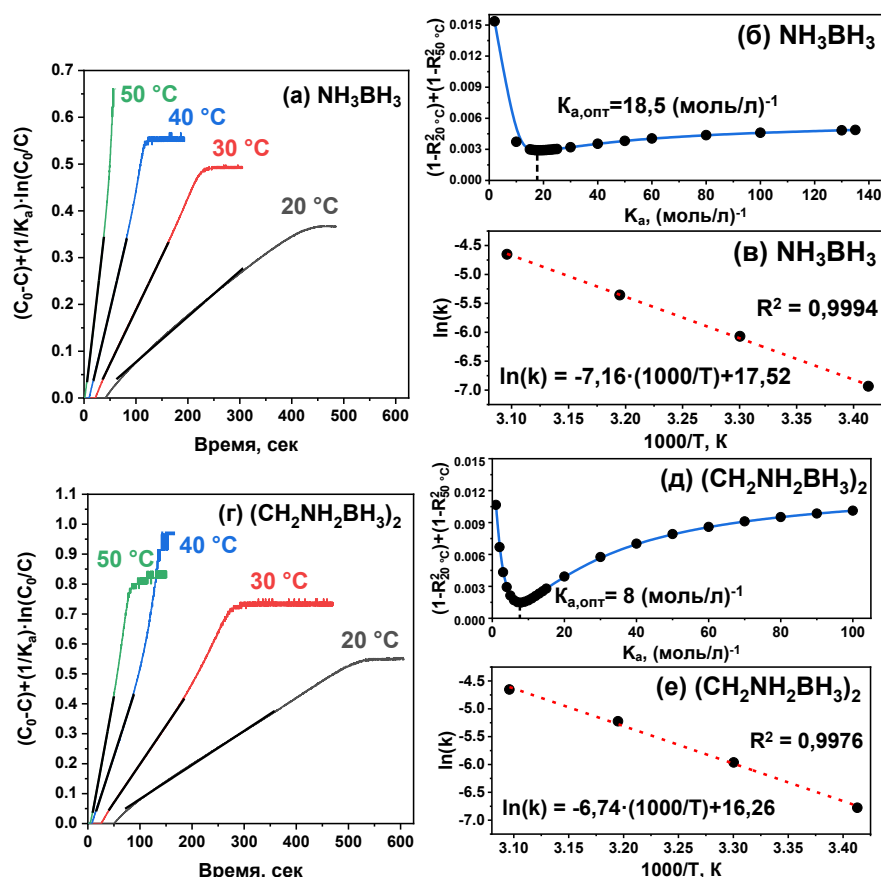


Рисунок 3 – Аппроксимация экспериментальных данных каталитического гидролиза АБ (а, б, в) и ЭДББ (г, д, е) согласно модели Ленгмюра-Хиншельвуда

Figure 3 – Approximation of experimental data of catalytic hydrolysis of AB (a, b, c) and EDBB (g, d, e) according to the Langmuir-Hinshelwood model

Найдено, что оптимальная константа адсорбции АБ на $\text{CuO-Co}_3\text{O}_4$ катализаторе составляет $18,5 \text{ (моль/л)}^{-1}$ и ЭДББ – 8 (моль/л)^{-1} . Это означает, что в данных реакционных условиях молекулы АБ адсорбируются на поверхности $\text{CuO-Co}_3\text{O}_4$ катализатора сильнее, чем молекулы ЭДББ. Вероятно, длинная молекула ЭДББ с углеводородными фрагментами имеет ограничения (стерические, электронные) при адсорбции на поверхности катализатора. Отметим, что опубликованные в литературе значения K_a для процесса гидролиза АБ варьируются в широком диапазоне. Например, $K_a = 28 \text{ (моль/л)}^{-1}$, $108 \text{ (моль/л)}^{-1}$ и $204 \text{ (моль/л)}^{-1}$ были получены для CuO [18], Co_3O_4 [18] и $\text{Co}_{2,24}\text{Cu}_{0,76}\text{O}_4$ - CuO [9] оксидных композиций, полученных методом

горения. Данные для ЭДББ в литературе не представлены.

Далее с использованием рассчитанных констант адсорбции были определены константы скорости реакции k при каждой температуре. Для этого проведена линеаризация экспериментальных данных в координатах уравнения (3) (рис. 3 а, г). Для аппроксимации выбран диапазон (10 ÷ 80) %-й конверсии гидролиза для снижения влияния процессов активации оксидного катализатора во время индукционного периода и его дезактивации в условиях снижения концентрации гидролиза в реакционной среде под действием продуктов реакции, воды и следов кислорода воздуха. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Кинетические параметры гидролиза АБ и ЭДББ, рассчитанные в рамках модели Ленгмюра-Хиншельвуда

Table 2 – Kinetic parameters of AB and EDBB hydrolysis calculated by the Langmuir-Hinshelwood model

Гидрид	$k \cdot 10^5, \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$				$K_a, \text{ (моль/л)}^{-1}$	$E_a, \text{ кДж/моль}$	$\ln(k_0)$
	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C			
АБ	97,3±0,1	231,00±0,08	472,0±0,3	952±2	18,5	59,9±0,8	17,5±0,4
R^2	0,9979	0,9999	0,9999	0,9992		0,9994	
ЭДББ	114,00±0,08	257,0±0,1	539,0±0,6	953±1	8,0	55±2	16,3±0,8
R^2	0,999	0,9998	0,9995	0,9995		0,9976	

Используя полученные значение k (табл. 2), были найдены энергии активации процессов гидролиза АБ и ЭДББ в присутствии $\text{CuO-Co}_3\text{O}_4$ катализатора по уравнению Аррениуса:

$$k = k_0 \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right), \quad (5)$$

где E_a – энергия активация процесса, Дж/моль. Согласно результатам линейной аппроксимации (рис. 3 в, е), они

составили $59,9 \pm 0,8 \text{ кДж/моль}$ для гидролиза АБ и $55 \pm 2 \text{ кДж/моль}$ для гидролиза ЭДББ (табл. 2).

Интересно отметить, что для более медленного процесса каталитического гидролиза ЭДББ получены более высокие значения констант скорости реакции и более низкое значение энергии активации (табл. 2). Вероятно, более высокая скорость реакции в случае

ВОДОРОДГЕНЕРИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ АММИНБОРАНА И ЭТИЛЕНДИАМИНБИСБОРАНА: СРАВНЕНИЕ КИНЕТИКИ РЕАКЦИИ ГИДРОЛИЗА

каталитического гидролиза АБ связана с более высоким показателем $\ln(k_0)$, а также со вкладом константы адсорбции в рамках модели Ленгмюра-Хиншельвуда. Напомним, что найденное значение $K_a = 18,5$ (моль/л) $^{-1}$ для АБ выше, чем значение $K_a = 8,0$ (моль/л) $^{-1}$ для ЭДББ. Адсорбция ЭДББ на поверхности катализатора является более низкой, что, полагаем, и объясняет более медленное протекание реакции по сравнению с АБ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе было проведено сравнительное исследование кинетики каталитического гидролиза двух борсодержащих гидридов – амминборана и этилендиаминбисборана. Исследование было выполнено в рамках кинетической модели Ленгмюра-Хиншельвуда, которая предполагает, что реакция происходит между адсорбированными реагентами на активных центрах катализатора. В качестве катализатора был использован смешанный оксид $\text{CuO-Co}_3\text{O}_4$, синтезированный методом горения цитрат-нитратной композиции. Кинетические исследования в температурном диапазоне 20–50 °C показали, что скорости выделения водорода при гидролизе АБ превышают показатели ЭДББ. При этом рассчитанные значения энергии активации показали близкие значения – $59,9 \pm 0,8$ кДж/моль в случае гидролиза АБ и 55 ± 2 кДж/моль в случае гидролиза ЭДББ. Полагаем, что в данном случае более высокая скорость каталитического гидролиза АБ связана со вкладом константы адсорбции, которая составляет $18,5$ (моль/л) $^{-1}$ для АБ и 8 (моль/л) $^{-1}$ для ЭДББ. По-видимому, строение молекулы ЭДББ влияет на ее адсорбцию и активацию на поверхности оксидного катализатора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hydrogen storage technologies for stationary and mobile applications: Review, analysis and perspectives / I.A. Hassan [et al.] // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021. V. 149. P. 111311. DOI: 10.1016/J.RSER.2021.111311.
2. Нецкина О.В., Комова О.В., Симагина В.И. Изучение генерации водорода из водно-щелочных растворов боргидрида натрия в проточном реакторе // *Ползуновский вестник*. 2017. № 4. С. 103–107.
3. Твердая водородгенерирующая композиция на основе боргидрида натрия: Изучение генерации водорода в воде, взятой из разных источников / О.В. Нецкина [и др.] // *Ползуновский вестник*. 2017. № 3. С. 149–153.
4. Wang C., Astruc D. Recent developments of nanocatalyzed liquid-phase hydrogen generation // *Chemical Society Reviews*. 2021. V. 50. P. 3437–3484. DOI: 10.1039/d0cs00515k.
5. Исследование зависимости скорости генерации водорода при гидротермоллизе амминборана от размера его частиц / А.М. Горлова [и др.] // *Ползуновский вестник*. 2018. № 4. С. 111–115. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2018.04.022.
6. Coşkuner Ö., Kantürk Figen A. Catalytic semi-continuous operation modes for hydrogen generation from carbon derivatives of ammonia boranes // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2022. V. 47. P. 40304–40316. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2022.02.
7. $\text{CuO-Co}_3\text{O}_4$ composite nanoplatelets for hydrolyzing ammonia borane / J. Liao [et al.] // *ACS Applied Nano Materials*. 2021. V. 4. P. 7640–7649. DOI: 10.1021/acsnm.1c00713.
8. Rattle-structured $\text{CuO/Co}_3\text{O}_4$ @C microspheres, a potent bifunctional catalyst for hydrogen production from ammonia borane hydrolysis and methanolysis / Y. Li [et al.] //

Applied Surface Science. 2023. V. 636. P. 157840. DOI: 10.1016/j.apsusc.2023.157840.

9. Coşkuner Filiz B., Kantürk Figen A., Pişkin S. The remarkable role of metal promoters on the catalytic activity of Co-Cu based nanoparticles for boosting hydrogen evolution: Ammonia borane hydrolysis // *Applied Catalysis B: Environmental*. 2018. V. 238. P. 365–380. DOI: 10.1016/j.apcatb.2018.07.031.

10. Coşkuner Filiz B., Kantürk Figen A., Pişkin S. Dual combining transition metal hybrid nanoparticles for ammonia borane hydrolytic dehydrogenation // *Applied Catalysis A: General*. 2018. V. 550. P. 320–330. DOI: 10.1016/j.apcata.2017.11.022.

11. Co and Co_3O_4 in the hydrolysis of boron-containing hydrides: H_2O activation on the metal and oxide active centers / V.R. Butenko [et al.] // *Materials*. 2024. V. 17. P. 1794. DOI: 10.3390/MA17081794.

12. Andrieux J., Demirci U.B., Miele P. Langmuir-Hinshelwood kinetic model to capture the cobalt nanoparticles-catalyzed hydrolysis of sodium borohydride over a wide temperature range // *Catalysis Today*. 2011. V. 170. P. 13–19. DOI: 10.1016/j.cattod.2011.01.019.

13. Retnamma R., Novais A.Q., Rangel C.M. Kinetics of hydrolysis of sodium borohydride for hydrogen production in fuel cell applications: A review // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2011. V. 36. P. 9772–9790. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2011.04.223.

14. Kinetics of Hydrogen Evolution during Ammonia Borane Hydrolysis with Cobalt-Based Catalysts / N.Y. Dyankova [et al.] // *Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques*. 2023. V. 17. P. 1001–1008. DOI: 10.1134/S102745102305004X.

15. Non-linear kinetic analysis of catalytic hydrolysis of ethylenediamine bisborane with nano-structured Pd/TiO_2 catalyst / O.S. Angı [et al.] // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2022. V. 47. P. 40430–40444. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2022.04.153.

16. Cobalt oxide catalyst for hydrolysis of sodium borohydride and ammonia borane / V.I. Simagina [et al.] // *Applied Catalysis A: General*. 2011. V. 394. P. 86–92. DOI: 10.1016/j.apcata.2010.12.028.

17. Kinetics of sodium borohydride hydrolysis reaction for hydrogen generation / A.J. Hung [et al.] // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2008. V. 33. P. 6205–6215. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2008.07.109.

18. Coşkuner Filiz B, Pişkin S. Investigation on activities of metal oxides catalyzed ammonia borane hydrolysis // *Sigma Journal Engineering and Natural Sciences*. 2016. V. 34. P. 159–173.

Информация об авторах

А. М. Озерова – кандидат химических наук, научный сотрудник Отдела материаловедения и функциональных материалов, НТК гидридных соединений, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр «Институт катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук» (ИК СО РАН).

Н. А. Данилова – студент Новосибирского государственного университета.

О. В. Комова – кандидат химических наук, старший научный сотрудник Отдела материаловедения и функциональных материалов, НТК гидридных соединений, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр «Институт катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук» (ИК СО РАН).

В. И. Симагина – доктор химических наук, главный научный сотрудник Отдела материаловедения и функциональных материалов, НТК гидридных соединений, Федеральное государственное бюджетное учре-

ждение науки «Федеральный исследовательский центр «Институт катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук» (ИК СО РАН).

О. В. Нецкина – кандидат химических наук, заведующий отделом материаловедения и функциональных материалов, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр «Институт катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук» (ИК СО РАН).

REFERENCES

- Hassan, I.A., Ramadan, H.S., Saleh, M.A. & Hissel, D. (2021). Hydrogen storage technologies for stationary and mobile applications: Review, analysis and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (149), 111311. DOI: 10.1016/J.RSER.2021.111311.
- Netskina, O.V., Komova, O.V. & Simagina, V.I. (2017). Study of hydrogen generation from aqueous-alkaline solutions of sodium borohydride in a flow reactor. *Polzunovskiy Vestnik*, (4), 103-107. (In Russ.).
- Netskina, O.V., Kayl, N.L., Komova, O.V. & Simagina, V.I. (2017). Solid hydrogen generating composition based on sodium borohydride: Study of hydrogen generation in water taken from different sources. *Polzunovskiy Vestnik*, (3), 149-153. (In Russ.).
- Wang, C. & Astruc, D. (2021). Recent developments of nanocatalyzed liquid-phase hydrogen generation. *Chemical Society Reviews*, (50), 3437-3484. DOI: 10.1039/d0cs00515k.
- Gorlova, A.M., Komova, O.V., Netskina, O.V. & Simagina, V.I. (2018). Study of dependence of hydrogen generation rate at hydrothermolysis of amminborane on its particle size. *Polzunovskiy Vestnik*, (4), 111-115. (In Russ.). DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2018.04.022.
- Coşkun, Ö. & Kantürk Figen, A. (2022). Catalytic semi-continuous operation modes for hydrogen generation from carbon derivatives of ammonia boranes. *International Journal of Hydrogen Energy*, (47), 40304-40316. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2022.02.
- Liao, J., Feng, Y., Zhang, X., Huang, L., Huang, S., Liu, M., Liu, Q. & Li, H. (2021). CuO-Co₃O₄ composite nanoplatelets for hydrolyzing ammonia borane. *ACS Appl. Nano Mater*, (4), 7640-7649. DOI: 10.1021/acsanm.1c00713.
- Li, Y., Li, L., Feng, Y., Wang, H., Liao, J., Ren, J., Zhou, W., He, M. & Li, H. (2023). Rattle-structured CuO/Co₃O₄@C microspheres, a potent bifunctional catalyst for hydrogen production from ammonia borane hydrolysis and methanolysis. *Applied Surface Science*, (636), 157840. DOI: 10.1016/j.apsusc.2023.157840.
- Coşkun Filiz, B., Kantürk Figen, A. & Pişkin, S. (2018). The remarkable role of metal promoters on the catalytic activity of Co-Cu based nanoparticles for boosting hydrogen evolution: Ammonia borane hydrolysis. *Applied Catalysis B: Environmental*, (238), 365-380. DOI: 10.1016/j.apcatb.2018.07.031.
- Coşkun Filiz, B., Kantürk Figen, A. & Pişkin, S. (2018). Dual combining transition metal hybrid nanoparticles for ammonia borane hydrolytic dehydrogenation. *Applied Catalysis A: General*, (550), 320-330. DOI: 10.1016/j.apcata.2017.11.022.
- Butenko, V.R., Komova, O.V., Simagina, V.I., Lipatnikova, I.L., Ozerova, A.M., Danilova, N.A., Rogov, V.A., Odegova, G.V., Bulavchenko, O.A., Chesalov, Y.A. & Netskina, O.V. (2024). Co and Co₃O₄ in the hydrolysis of boron-containing hydrides: H₂O activation on the metal and oxide active centers. *Materials*, (17), 1794. DOI: 10.3390/MA17081794.
- Andrieux, J., Demirci, U.B. & Miele, P. (2011). Langmuir-Hinshelwood kinetic model to capture the cobalt nanoparticles-catalyzed hydrolysis of sodium borohydride over a wide temperature range. *Catalysis Today*, (170), 13-19. DOI: 10.1016/j.cattod.2011.01.019.
- Retnamma, R., Novais, A.Q. & Rangel, C.M. (2011). Kinetics of hydrolysis of sodium borohydride for hydrogen production in fuel cell applications: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, (36), 9772-9790. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2011.04.223.
- Dyankova, N.Y., Lapin, N.V., Grinko, V.V. & Vyatkin, A.F. (2023). Kinetics of hydrogen evolution during ammonia borane hydrolysis with cobalt-based catalysts. *Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques*, (17), 1001-1008. DOI: 10.1134/S102745102305004X.
- Angi, O.S., Murathan, H.B., Özkan, G. & Özkan, G. (2022). Non-linear kinetic analysis of catalytic hydrolysis of ethylenediamine bisborane with nano-structured Pd/TiO₂ catalyst. *International Journal of Hydrogen Energy*, (47), 40430-40444. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2022.04.153.
- Simagina, V.I., Komova, O.V., Ozerova, A.M., Netskina, O.V., Odegova, G.V., Kellerman, D.G., Bulavchenko, O.A. & Ishchenko, A.V. (2011). Cobalt oxide catalyst for hydrolysis of sodium borohydride and ammonia borane. *Applied Catalysis A: General*, (394), 86-92. DOI: 10.1016/j.apcata.2010.12.028.
- Hung, A.J., Tsai, S.F., Hsu, Y.Y., Ku, J.R., Chen, Y.H. & Yu, C.C. (2008). Kinetics of sodium borohydride hydrolysis reaction for hydrogen generation. *International Journal of Hydrogen Energy*, (33), 6205-6215. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2008.07.109.
- Coşkun Filiz, B. & Pişkin, S. (2016). Investigation on activities of metal oxides catalyzed ammonia borane hydrolysis. *Sigma Journal Engineering and Natural Sciences*, (34), 159-173.

Information about the authors

A.M. Ozerova - Candidate of Chemical Sciences, researcher of the Department of Materials Science and Functional Materials, Laboratory of Hydride Compounds in the Boreskov Institute of Catalysis SB RAS.

N.A. Danilova - student of Novosibirsk State University.

O.V. Komova - Candidate of Chemical Sciences, senior researcher of the Department of Materials Science and Functional Materials, Laboratory of Hydride Compounds in the Boreskov Institute of Catalysis SB RAS.

V.I. Simagina - Doctor of Chemical Sciences, chief researcher of the Department of Materials Science and Functional Materials, Laboratory of Hydride Compounds in the Boreskov Institute of Catalysis SB RAS.

O.V. Netskina - Candidate of Chemical Sciences, head of the Department of Materials Science and Functional Materials, in the Boreskov Institute of Catalysis SB RAS.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 26 сентября 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 26 Sep 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.



Научная статья
2.6.17 – Материаловедение (технические науки)
УДК 620.18

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.036



МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОСНАСТКИ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНОЙ КОМПОЗИЦИИ ИЗ ПОЛИУРЕТАНОВ С ДИСПЕРСНЫМ НАПОЛНЕНИЕМ

Максим Петрович Данилаев¹, Сергей Алексеевич Карандашов²,
Владимир Александрович Куклин³, Арсений Валерьевич Поляев⁴,
Юлия Алексеевна Тунакова⁵, Константин Владимирович Файзуллин⁶

^{1, 2, 3, 4, 5, 6} Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, Казань, Россия

¹ danilaev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7733-9200>

² seregak2005@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7608-6531>

³ iamkvova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4254-5837>

⁴ AVPolayev@kai.ru

⁵ YuATunakova@kai.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8826-8639>

⁶ KVFayzullin@kai.ru, <https://orcid.org/0009-0003-4507-058X>

³ Казанский федеральный университет, Казань, Россия

Аннотация. Выбор материала модельного пластика, используемого в технологиях формирования изделий из полимерных композиционных материалов, обусловлен, в первую очередь, требованиями к его механическим и теплофизическим характеристикам. Обеспечить выполнение этих требований возможно как за счет подбора компонентов полиуретана, так и за счет подбора типа дисперсных частиц наполнителя. В работе обоснована целесообразность использования дисперсных частиц, не обладающих влагопоглощением. Показано, что основной причиной снижения предела прочности композиции полиуретана с дисперсным наполнителем, обладающим влагопоглощением, является изменение структуры макромолекул полиуретана. Отмечено незначительное повышение твердости и коэффициента линейного температурного расширения композита при использовании таких частиц.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, дисперсные частицы наполнителя.

Благодарности: Научные исследования выполнены за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ (Приоритет-2030). Тунакова Ю.А. признательна поддержке Минобрнауки России в рамках исполнения обязательств по Соглашению номер № 075-03-2024-067 от 17.01.2024 г. в части приобретения и подготовки частиц цеолита.

Для цитирования: Механические свойства оснастки на основе полимерной композиции из полиуретанов с дисперсным наполнением / М. П. Данилаев [и др.] // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 205–211. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.036. EDN: <https://elibrary.ru/RSNOMD>.

Original article

MECHANICAL PROPERTIES OF DISPERSED FILLER POLYURETHANE COMPOSITION

Maxim P. Danilaev¹, Sergey A. Karandashov², Vladimir A. Kuklin³,
Arsenii V. Polyayev⁴, Julia A. Tunakova⁵, Konstantin V. Fayzullin⁶

^{1, 2, 3, 4, 5, 6} Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan, Russia

¹ danilaev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7733-9200>

² seregak2005@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7608-6531>

³ iamkvova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4254-5837>

⁴ AVPolayev@kai.ru

⁵ YuATunakova@kai.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8826-8639>

⁶ KVFayzullin@kai.ru, <https://orcid.org/0009-0003-4507-058X>

³ Kazan Federal University, Kazan, Russia

Abstract. The mechanical and thermal characteristics are determining the model plastics components, that using for making the construction from polymer composites. The polyurethane components selection or dispersed filler selec-

© Данилаев М. П., Карандашов С. А., Куклин В. А., Поляев А. В., Тунакова Ю. А., Файзуллин К. В., 2025

tion can enforce these requirements. The using of dispersed filler that do not have moisture absorption is feasibility for these purposes. The structure of polyurethane macromolecules change is the course of tensile strength decrease in polyurethane composite with dispersed filler that have moisture absorption. A slight increase in the hardness and coefficient of linear thermal expansion of the composite is noted when using such particles.

Keywords: polymer composite materials, dispersed filler particles.

Acknowledgements: The scientific research was carried out using funds from the Strategic Academic Leadership Program of the Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI (Priority-2030). Yu.A. Tunakova is grateful for the support of the Ministry of Education and Science of Russia in the framework of the fulfillment of obligations under Agreement No. 075-03-2024-067 dated 17.01.2024 in terms of the acquisition and preparation of zeolite particles.

For citation: Danilaev, M.P., Karandashov, S.A., Kuklin, V.A., Polyayev, A.V., Tunakova, Yu.A. & Fayzullin, K.V. (2025). Mechanical properties of dispersed filler polyurethane composition. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 205-211. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.036. EDN: <https://elibrary.ru/RSNOMD>.

ВВЕДЕНИЕ

Изготовление изделий из полимерных композиционных материалов (ПКМ), например, элементов конструкций летательных аппаратов, методом инфузии предполагает использование технологической оснастки для выкладки и их полимеризации [1–3]. При выборе материала оснастки учитывают высокую точность изготовления изделий из ПКМ, количество изделий в серии, технологические параметры (используемые смолы, температура их отверждения и пр.). Модельный пластик на основе полиуретанов с дисперсным наполнением широко применяют в качестве материала оснастки при изготовлении небольшой серии изделий из угле- или стеклопластика [2, 3]. Основными требованиями, обычно предъявляемыми к материалу модельного пластика, являются [4, 5]: закрытые ячейки (поры) с размером не более десятков микрон, малое значение коэффициента линейного температурного расширения (КЛТР), относительно низкая плотность ($0,8\div 1,2$ кг/м³), низкая абразивность при обработке, максимально возможное значение предельной прочности при малой предельной деформации. Существуют, по крайней мере, два подхода к обеспечению этих требований при выборе элементов композиции. Во-первых, выбор компонентов полиуретана при его получении. Например, в работе [6] показано, что изменение соотношения между компонентами полиуретана с увеличением доли триола приводит к повышению числа поперечных сшивок между макромолекулами, и, как следствие, к увеличению модуля упругости, предела прочности и уменьшению величины предельной деформации полимера. В работах [7–9] приведены результаты исследований технологии формирования полимеров на основе полиуретанов на их механические свойства. Показано, что технологические условия (выбор компонентов полиуретанов, температура прессформы, содержание влаги) влияют на густоту сшивок между макромолекулами и характерные размеры пор, что определяет, в том числе, КЛТР и плотность таких полимеров. Следует отметить, что пластичность ненаполненных полиуретанов при нагревании возрастает и уже при температурах около 50 °С оказывается значительной, что не позволяет обеспечить высокую точность изготовления деталей из ПКМ при горячем отверждении [8, 10].

Второй подход к обеспечению заданных требований модельного пластика основан на выборе типа и концентрации дисперсных частиц. Так, в работе [11] показано снижение размера пор и повышения количества закрытых ячеек при концентрации дисперсных частиц наполнителя более 15 %. Механические свойства композиций полиуретана с дисперсными частицами наполнителя определяются не только механическими свойствами компонентов композиции [12–14], но и способностью дисперсных частиц поглощать влагу. Это обусловлено тем, что вода, содержащаяся в компонентах полиуретана, влияет не только на по-

рообразование полимера матрицы, но и на структуру его макромолекул [15, 16]. Пористые дисперсные частицы, способные поглощать воду (например, цеолит или кремнезем), обладают меньшей плотностью, чем такие частицы, как кальцит. Увеличение содержания частиц с большой плотностью будет приводить к увеличению плотности макетного пластика, а увеличение содержания пористых частиц – к уменьшению пористости ПКМ, и как следствие, повышению плотности за счет снижения объема CO₂, выделяемого в процессе формирования полиуретана. Таким образом, выбор компонентов композиции предполагает решение задачи определения соотношения ее компонентов, где критериями являются требования к физико-техническим свойствам макетного пластика: плотность, размер ячеек (пор), значение КЛТР, предельные прочностные характеристики.

Целью данной работы является определение соотношения между типом дисперсных частиц наполнителя, обеспечивающих наилучшие прочностные характеристики и наименьшее значение КЛТР макетного пластика, предназначенного для формирования изделий из угле- или стеклопластика при температурах не более 50 °С.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Полимерную композицию получали на основе полиуретана КАД-1000 и КАД-250, смешивая их компоненты А в соотношении 6:5 по массе (производитель АО «ХИМТРАСТ» г. Нижнекамск ТУ 20.16.56-086-27903090-2021). В качестве наполнителей использовали два типа частиц: плотные частицы кальцита фракции 5 мкм (производитель «Уральский завод строительных материалов» г. Екатеринбург) и пористые частицы природного цеолита фракции 0÷0,2 мм (производитель ОАО «Цеолиты Поволжья» ТУ 21636-001-27860096). Частицы цеолита предварительно обрабатывали для удаления оксидов, гидроксидов и карбонатов кальция, а также органических примесей. Обработку осуществляли в растворе 5М соляной кислоты в течение 10 минут с последующим прокаливанием при температуре 400 ± 10 °С в течение 2 часов. После остывания частиц цеолита до комнатной температуры была проведена повторная обработка раствором соляной кислоты в течение 10 минут с последующей промывкой. Промытые частицы высушивали при 105 ± 3 °С в течение 2 часов.

Частицы цеолита измельчали перед их введением в композицию в течение $5\pm 0,5$ минут при оборотах 500 ± 10 об/мин на лабораторной планетарной мельнице ВМ-40 с использованием размольных шаров диаметром 10 мм. Образцы полимерной композиции изготавливались с различным соотношением (по массе) между этими частицами наполнителя (табл. 1). Дополнительно в состав композиции вводили расширенные

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3 2025

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОСНАСТКИ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНОЙ КОМПОЗИЦИИ ИЗ ПОЛИУРЕТАНОВ С ДИСПЕРСНЫМ НАПОЛНЕНИЕМ

полимерные сферы размером 50÷70 мкм (марка Lega Foam DET50d25) с целью уменьшения крупных пор в структуре макетного пластика. Массовая доля полимерных сфер во всех образцах ПКМ составляла 0,5±0,07 %. При нагревании, в процессе формирования

ПКМ на основе полиуретана, сферы расширяются, увеличивая свой объем, за счет чего заполняются крупные поры в объеме макетного пластика при соблюдении условия постоянного объема смеси.

Таблица 1 – Соотношение между дисперсными частицами наполнителя в ПКМ

Table 1 – Dispersed filler particles ratio in PCM

Наименование образца	Отношение по массе цеолит / кальцит, ϕ	Массовая доля кальцита в композиции, %	Массовая доля цеолита в композиции, %
Образец 1	1	3,75	3,75
Образец 2	0,6	4,69	2,81
Образец 3	0,33	5,64	1,86
Образец 4	0,14	6,58	0,92
Образец 5	0	7,5	0

Гомогенизацию компонентов композиции со смесью компонентов А проводили на лабораторном диссольвере (марка ДС-2-25) следующим образом. В емкость объемом 1±0,2 литра добавляли компоненты А, КАД-1000 и КАД-250 в массовом соотношении 6:5. Затем при вращающейся фрезе со скоростью 150±10 об/мин засыпали цеолит, который перемешивали при скорости 800÷1000 об/мин в течение 10±1 минут, после чего в полученную смесь засыпали расширенные полимерные сферы при скорости вращения фрезы 300±10 об/мин. Гомогенность смеси контролировали визуально по отсутствию неоднородных включений. В последнюю очередь в смесь вносили кальцит с последующей гомогенизацией в течение 5÷7 минут на скорости 2800±200 об/мин. Полученную смесь охлаждали до температуры 23±2 °С. После чего в смесь добавляли в расчетном количестве (по массе) компонент В для полимеризации и перемешивали ее при скорости 900÷1000 об/мин в течение 2÷3 минут.

Замешенную смесь заливали в металлическую (дюралюминий Д-16) форму с размером 135х135х40 мм, внутреннюю часть стенок и крышки которой обрабатывали антиадгезионной смазкой АС-5 (производитель АО «ХИМТРАСТ» г. Нижнекамск). Температура формы при заливке составляла $T_0 = 35 \pm 1^\circ \text{C}$. После заливки смеси форму закрывали крышкой и ставили под пресс для предотвращения выхода расширенного материала из формы и достижения условия постоянного объема смеси. Образец выдерживали под прессом 30±2 минуты при давлении 3±0,2 атм. Для исследования механических свойств из каждого образца изготавливали (методом фрезерования) пластинки с размерами 120х25х2,5 мм с погрешностью не более ±0,5 мм.

Добавление цеолита в композицию полиуретана должно приводить к снижению влагосодержания [17], и, следовательно, к снижению пористости образцов ПКМ. Измерение пористости образцов ПКМ (табл. 1) проводили косвенно методом набухания [18, 19]. Образцы ПКМ помещали в дистиллированную воду при температуре 23±2 °С, предварительно высушив их в вакуумной камере при давлении ~100 Па в течение 24 часов. Взвешивание образцов проводили с погрешностью не хуже 10⁻⁵ г, до (масса m_1) и после (масса m_2) выдержки образцов в дистиллированной воде в течение 4 часов. Следует отметить, что набухание образцов происходит за счет наполнения водой, как пор полимера, так и частиц цеолита. Для того чтобы разделить эти процессы и определить изменение массы образцов только в результате наполнения водой пор полимера, дополнительно определяли водопоглощение частиц цеолита после их измельчения [20]. Водопоглощение частиц цеолита составило 0,449±0,03. Массу частиц цеолита $m_{ц}$ в исследуемых образцах определяли с учетом массовой доли содержания цеолита в образцах массы m_1 . Таким образом, набухание (Δ) образцов ПКМ (табл. 1) с учетом только пористости полимера матрицы осуществляли по формуле:

$$\Delta = \frac{m_2 - m_1 - m_{ц} \cdot 0,449}{m_1} \quad (1)$$

Структуру поверхности образцов исследовали методом оптической микроскопии на микроскопе Axio Imager.Z2m (Carl Zeiss, Германия).

Определение среднего значения КЛТР проводили в диапазоне температур [21÷45]±0,5 °С по схеме, приведенной на рисунке 1.

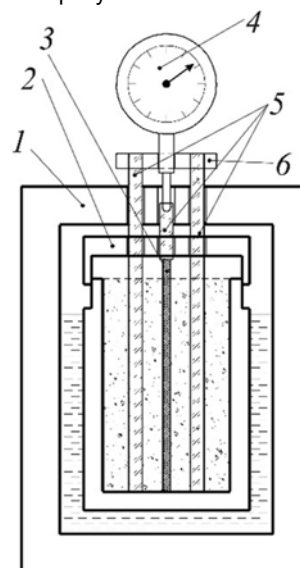


Рисунок 1 – Схема установки измерения коэффициента линейного температурного расширения образцов модельного пластика

Figure 1 – The device scheme of coefficient of linear thermal expansion measurement of PCM samples

Для определения КЛТР образцов (табл. 1) изготавливали образцы 3 цилиндрической формы, диаметром 25±1 мм и высотой цилиндров 120±1 мм. Образец 3 помещался в стакан 2. Стакан помещался в термостат 1, заполненный жидкостью. Температура жидкости контролировалась ртутным термометром с погрешностью 0,5 °С. Индикаторные часы 4 устанавливались на пластине 6, которая через кварцевые стрелки 5 фиксировала их положение относительно нижнего конца образ-

ца 3. Изменение положения верхнего конца образца 3 при увеличении температуры через кварцевый стержень контролировалось индикаторными часами. При этом смещение нижнего конца образца за счет деформации дна стакана при нагревании приводило к соответствующему смещению индикаторных часов, что устраняло влияние этого процесса на результат измерения КЛТР. Следует отметить, что КЛТР кварца в диапазоне температур измерений составляет $\sim 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ [21], что, по крайней мере, на порядок меньше типового значения КЛТР для ненаполненного полиуретана [22]. Калибровка устройства измерения КЛТР проводилась с использованием кварца в качестве образца 3. Погрешность измерения при калибровке не превышала 5 мкм.

Определение механических характеристик производили по ГОСТ 4648-2014 на универсальной настольной испытательной машине для физико-механических испытаний различных материалов Shimadzu AG-X 50 kN. При проведении испытаний скорость нагружения на изгиб составляла 0,1 мм/мин (с погрешностью не более 10 %); температура окружающей среды – 23 ± 2 °С. Измерение твердости по Либбу производилось с использованием твердомера ТЭМП-4 при температуре 23 ± 2 °С. Проводилось 25 независимых измерений в разных областях каждого исследуемого образца с последующим усреднением полученных значений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сопоставительный анализ поверхностей образцов (рис. 2) показывает снижение удельного количества пор с ростом содержания частиц цеолита в образцах.

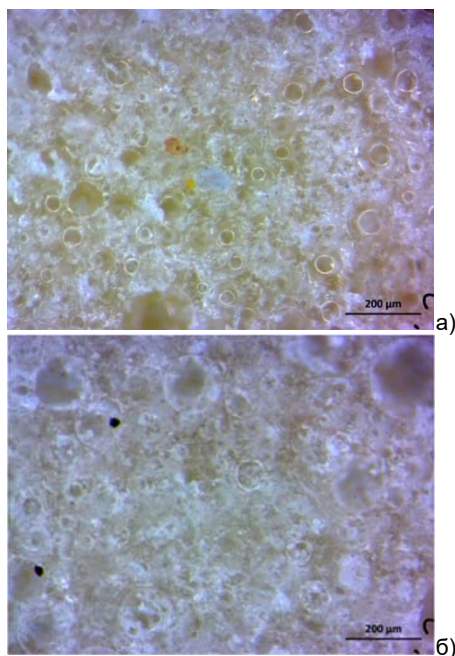


Рисунок 2 – Изображение поверхностей образцов:
а – образец 5; б – образец 1

Figure 2 – The samples surfaces image:
а – sample 5; б – sample 1

Следует отметить, что при этом увеличивается средний размер пор. Статистический анализ среднего размера пор проводился обработкой изображений в программном комплексе Image J. Количество пор для каждого из образцов составляло не менее 800–1000 штук, что

обеспечивало достоверность статистических результатов [23]. Удельное количество пор в Образце 5 составило $\sim 300 \div 400$ пор/см², в образце 1 – $80 \div 170$ пор/см²; средний размер пор соответственно 40 мкм и ~ 90 мкм.

Уменьшение удельного количества пор с ростом содержания частиц цеолита, по всей видимости, обусловлено уменьшением влаги в компоненте А за счет ее поглощения этими частицами. Изоционат (компонент В) вступает в реакцию полимеризации как с компонентом А, с образованием полиуретана, так и с водой, с образованием углекислого газа и полимочевины [16]. Молекулы полимочевины сополимеризуются с молекулами полиуретана, за счет чего структура молекул полимера изменяется. Углекислый газ, выделяемый в процессе формирования полиуретана, способствует порообразованию. Кроме того, в результате реакции изоционата с водой выделяется теплота. Поэтому повышение содержания частиц цеолита обуславливает снижение температуры модельного пластика при его формировании (рис. 3).

В процессе формирования образцов ПКМ модельного пластика измеряли изменение температуры (ΔT) на поверхности формы (рис. 3): $\Delta T = T_{\text{max}} - T_0$, где T_{max} – наибольшее значение температуры при полимеризации ПКМ на основе полиуретана:

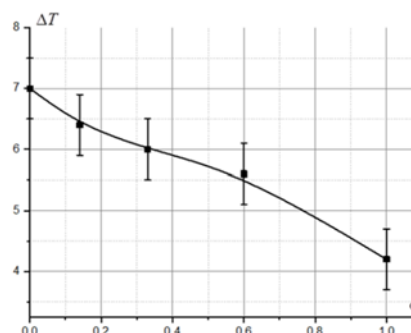


Рисунок 3 – Зависимость изменения температуры на поверхности формы от соотношения φ дисперсных частиц наполнителя

Figure 3 – Mold surface temperature depending of ratio of dispersed filler particles φ

Уменьшение температуры и удельного количества пор с ростом содержания частиц цеолита в ПКМ соответствует результатам по набуханию образцов (рис. 4) и свидетельствует об уменьшении содержания влаги в исходных компонентах композиции в результате ее поглощения этими частицами.

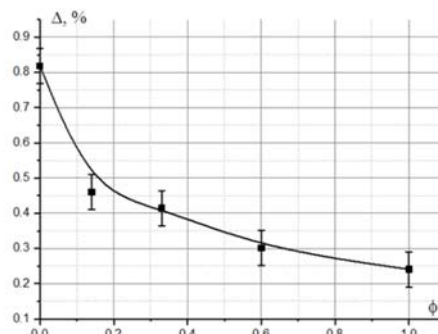


Рисунок 4 – Зависимость набухания образцов ПКМ на основе полиуретанов от соотношения φ дисперсных частиц наполнителя

Figure 4 – PCM samples swelling depending of dispersed filler particles ratio φ

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОСНАСТКИ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНОЙ КОМПОЗИЦИИ ИЗ ПОЛИУРЕТАНОВ С ДИСПЕРСНЫМ НАПОЛНЕНИЕМ

Поэтому можно предположить изменение структуры макромолекул полиуретана за счет снижения содержания мочевины при формировании ПКМ [16], что должно приводить к изменению его механических характеристик.

Прочностные характеристики ПКМ модельного пластика имеют монотонную зависимость (рис. 5) от параметра ϕ .

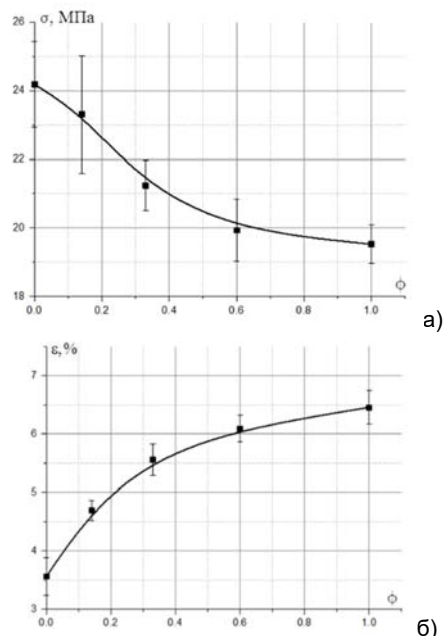


Рисунок 5 – Зависимость прочностных характеристик ПКМ модельного пластика от соотношения ϕ дисперсных частиц наполнителя:

а – предел прочности; б – предельная деформация

Figure 5 – Model plastic PCM strength characteristics depending of dispersed filler particle ratio ϕ

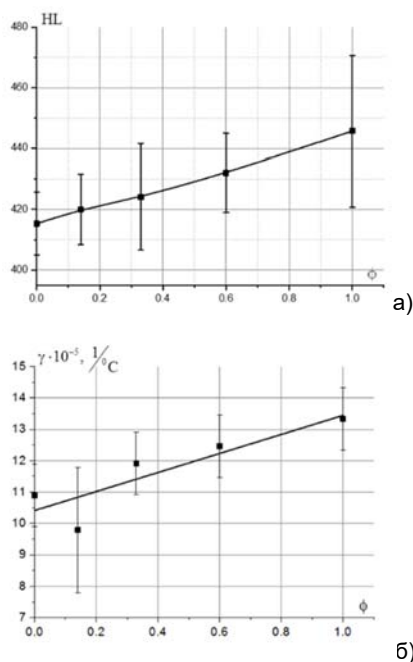


Рисунок 6 – Зависимость твердости по Леббу (HL) и КЛТР (γ) от соотношения ϕ дисперсных частиц наполнителя

Figure 6 – Lebb hardness (HL) and CLTR (γ) depending of dispersed filler particles ratio ϕ

Известно, что увеличение пористости полимеров приводит к снижению их предела прочности [24, 25]. Это связано, в том числе с ростом напряженно-деформированного состояния полимера матрицы на границе с порой [25]. Результаты эксперимента по набуханию образцов и микроскопический анализ их поверхностей свидетельствуют о снижении пористости ПКМ модельного пластика с увеличением доли ϕ частиц цеолита. С другой стороны, дисперсные частицы в композиции полимера приводят к увеличению предела прочности за счет уменьшения подвижности макромолекул полимера [26] вследствие взаимодействия частиц с полимерной матрицей. Следует отметить, что частицы цеолита взаимодействуют с полиуретаном [27] лучше частиц кальцита [28]. Это должно приводить к увеличению предела прочности с ростом показателя ϕ . Поэтому, уменьшение предела прочности (рис. 3, а), по всей видимости, вызвано, в первую очередь, изменениями в структуре макромолекул полимера.

Незначительное повышение твердости (HL) по Леббу и КЛТР (γ) ПКМ макетного пластика (рис. 6) связано, по всей видимости, как с уменьшением его пористости [29], так и с изменением в структуре макромолекул.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показывают, что использование пористых частиц, способных к влагопоглощению при их введении в компонент А полиуретана до инициирования реакции полимеризации, приводит к существенному снижению предела прочности и незначительному повышению КЛТР. Так, при массовом содержании частиц кальцита и частиц цеолита 3,75 % соответственно в образцах ПКМ на основе полиуретана предел прочности снижается на 20 % по сравнению с образцами без частиц цеолита. Основной причиной этого является изменение структуры макромолекул полиуретана в результате снижения влагосодержания в его исходных компонентах. Следует отметить, что повысить предельные характеристики композита возможно за счет повышения взаимодействия частиц кальцита с полимером матрицы, путем, например, их капсулирования [30]. Незначительное повышение твердости с ростом частиц цеолита в образцах обусловлено снижением пористости ПКМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комаров В.А., Куркин Е.И., Кузнецов А.С. Исследование и модификация оснастки и формообразующей поверхности с целью повышения точности изготовления деталей методом вакуумной инфузии // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 6–3. С. 710–717.
2. Методика выбора материала оснастки для изготовления элементов конструкции летательных аппаратов / Файзуллин К.В. [и др.] // Сибирский аэрокосмический журнал. 2023. Т. 24. № 3. С. 605–612. doi: 10.31772/2712-8970-2023-24-3-605-612.
3. Янович А. Современные композитные материалы для производства оснастки // Композитный мир. 2016. № 6. С. 36–40.
4. Thermal, mechanical and morphological properties of polyurethane–zirconia loading / Salman A.J. [и др.] // International Journal of Low-Carbon Technologies. 2021. Т. 16. № 2. С. 454–462. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctaa078>.
5. Gama N.V., Ferreira A., Barros-Timmons A. Polyurethane foams: Past, present, and future // Materials. 2018. Т. 11. № 10. С. 1841. <https://doi.org/10.3390/ma11101841>.
6. Chiou B.-S., Schoen P.E. Effects of crosslinking on thermal and mechanical properties of polyurethanes // Journal of Applied Polymer Science. 2002. Т. 83. № 1. С. 212–223. <https://doi.org/10.1002/app.10056>.
7. Possart W., Zimmer B. Water in polyurethane networks:

physical and chemical ageing effects and mechanical parameters // *Continuum Mech. Thermodyn.* 2024. Т. 36. № 2. С. 261–287. <https://doi.org/10.1007/s00161-022-01082-y>.

8. A Review of Research on the Effect of Temperature on the Properties of Polyurethane Foams / Wang J. [и др.] // *Polymers. Multidisciplinary Digital Publishing Institute.* 2022. Т. 14. № 21. С. 4586. <https://doi.org/10.3390/polym14214586>.

9. Polyurethane foam materials and their industrial applications / Ates M. [и др.] // *Polymer International.* 2022. Т. 71. № 10. С. 1157–1163. <https://doi.org/10.1002/pi.6441>.

10. Ashrafizadeh H., Mertiny P., McDonald A. Evaluation of the effect of temperature on mechanical properties and wear resistance of polyurethane elastomers // *Wear.* 2016. Т. 368. С. 26–38. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2016.08.008>.

11. Comparison of flexible polyurethane foams properties from different polymer polyether polyols / Izarra I. [и др.] // *Polymer Testing.* 2021. Т. 100. С. 107268. <https://doi.org/10.1016/j.polymeresting.2021.107268>.

12. Investigating Physio-Thermo-Mechanical Properties of Polyurethane and Thermoplastics Nanocomposite in Various Applications / Allami T. [и др.] // *Polymers.* 2021. Т. 13. № 15. С. 2467. <https://doi.org/10.3390/polym13152467>.

13. Influence of the filler content on the thermal expansion behavior of an epoxy matrix particulate composite / Tognana S. [и др.] // *Materials Science and Engineering: B.* 2009. Т. 157. № 1. С. 26–31. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2008.12.003>.

14. Веттерген В.И., Башкарев А.Я., Суслов М.А. Влияние формы и концентрации частиц наполнителей на тепловое расширение полимерных композитов // *Журнал технической физики.* 2007. Т. 77. № 10. С. 135–138.

15. Афанасьев А.В., Дудченко А.А., Рабинский Л.Н. Влияние структуры полимерного композиционного материала на остаточное напряженно-деформированное состояние // *Инженерная Физика.* 2010. № 7. С. 13–20.

16. Polyurethane types, synthesis and applications – a review / Akindoyo J.O. [и др.] // *RSC Advances.* 2016. Т. 6. № 115. С. 114453–114482. <https://doi.org/10.1039/C6RA14525F>.

17. Galadari M. Robust polyurethane-zeolite composites with diverse applications. University of California, Los Angeles, 2023.

18. Влияние свойств полимеров на условия их набухания в воде и в водных растворах / Феропонтов Н.Б. [и др.] // *Сорбционные и хроматографические процессы.* 2014. Т. 14. № 5. С. 795–812.

19. Зуев В.В., Успенская М.В., Олехнович А.О. Физика и химия полимеров : учеб. пособие. 2010. 45 с.

20. Determination of swelling operation parameters to improve the hierarchy of natural zeolite Lampung after synthesis / Intang A. [и др.] // *South African Journal of Chemical Engineering.* 2024. Т. 50. С. 125–134. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2024.08.004>.

21. Oikawa N., Maesono A., Tye R.P. Thermal expansion measurements of quartz glass by laser interferometry // *Thermal conductivity.* 1999. Т. 24. С. 405–416.

22. Hurley M.F. Advances in polyurethane RRIM for automotive exteriors // *API Polyurethanes Expo 2001.* 9 с.

23. Analysis of aluminum oxides submicron particle agglomeration in polymethyl methacrylate composites / Kuklin V. [и др.] // *International journal of molecular sciences.* 2023. Т. 24. № 3. С. 1–9. <https://doi.org/10.3390/ijms24032515>.

24. Impact of surface porosity and topography on the mechanical behavior of high strength biomedical polymers / Evans N.T. [и др.] // *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials.* 2016. Т. 59. С. 459–473. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2016.02.033>.

25. The influence of porosity on stress and strain state of porous polymer materials / Zeleniakienė D. [и др.] // *Materials science.* 2003. Т. 9. № 4. С. 358–362.

26. Механические свойства полимерной композиции на основе эпоксидной смолы при вариации толщины оболочки полилактида на поверхностях дисперсных частиц оксида меди (II) / Бобина Е.А. [и др.] // *Пластические массы.* 2024. № 11–12. С. 31–34. <https://doi.org/10.35164/0554-2901-2023-11-12-31-34>.

27. Patel D.K., Biswas A., Maiti P. Nanoparticle-induced phenomena in polyurethanes // *Advances in polyurethane biomaterials.* 2016. С. 171–194. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100614-6.00006-8>.

28. Structural and mechanical characterization of polyurethane-CaCO₃ composites synthesized at high calcium carbonate loading: An experimental and theoretical study / de Moura A. P. [и др.] // *Journal of Composite Materials.* 2021. Т. 55. № 21. С. 2857–2866. <https://doi.org/10.1177/00219983219964>.

29. Prasad A., Fotou G., Li S. The effect of polymer hardness, pore size, and porosity on the performance of thermoplastic polyurethane-based chemical mechanical polishing pads // *Journal of Materials Research.* 2013. Т. 28. № 17. С. 2380–2393. <https://doi.org/10.1557/jmr.2013.173>.

30. Influence of the thickness of a polymer shell applied to surfaces of submicron filler particles on the properties of polymer compositions / Akhmedeev A.A. [и др.] // *Mech Compos Mater.* 2020. Т. 56. № 2. С. 241–248. <https://doi.org/10.1007/s11029-020-09876-4>.

Информация об авторах

М. П. Данилаев – доктор технических наук, профессор кафедры «Электронных и квантовых средств передачи информации» Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ.

С. А. Карандашов – инженер-исследователь междисциплинарной межвузовской лаборатории Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ.

В. А. Куклин – кандидат физико-математических наук, инженер-исследователь междисциплинарной межвузовской лаборатории Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ.

А. В. Поляев – аспирант, начальник НИЛ «СЦК «Технологии композитов» Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ.

Ю. А. Тунакова – доктор химических наук, профессор, заведующая кафедрой общей химии и экологии Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ.

К. В. Файзуллин – кандидат технических наук, заместитель начальника управления научно-исследовательской работы (УНИР) Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ.

REFERENCES

1. Komarov, V.A., Kurkin, E.I., Kuznetsov, A.S. (2013). Research and modification of tooling and forming surface in order to improve accuracy of parts manufacturing by vacuum infusion method. *Izvestiya Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 15, (6-3), 710-717. [In Russian].
2. Faizullin, K.V., Danilaev, M.P., Polyayev, A.V., Semin, S. A., Rakipov, T. I. (2023). Rigging material selection methodology for aircraft elements design. *Siberian Aerospace Journal*, 24(3), 605-612. [In Russian]. doi: 10.31772/2712-8970-2023-24-3-605-612.
3. Yanovich, A. (2016). Modern composite materials for tooling production. *Composite World*, (6), 36-40. [In Russian].
4. Salman, A.J., Al-Obaidi, A.A., Al-Mamoori, D.H., Shaker, L.M., Al-Amiery, A.A. (2021). Thermal, mechanical and morphological properties of polyurethane-zirconia loading. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 16 (2), 454-462. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctaa078>.
5. Gama, N.V., Ferreira, A., Barros-Timmons, A. (2018). Polyurethane foams: Past, present, and future. *Materials*, 11(10), 1841. <https://doi.org/10.3390/ma11101841>.
6. Chiou, B.-S. & Schoen, P.E. (2002). Effects of crosslinking on thermal and mechanical properties of polyurethanes. *Journal of Applied Polymer Science*, 83(1), 212–223. <https://doi.org/10.1002/app.10056>.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОСНАСТКИ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНОЙ КОМПОЗИЦИИ ИЗ ПОЛИУРЕТАНОВ С ДИСПЕРСНЫМ НАПОЛНЕНИЕМ

7. Possart, W. & Zimmer, B. (2024). Water in polyurethane networks: physical and chemical ageing effects and mechanical parameters. *Continuum Mech. Thermodyn*, 36(2), 261-287. <https://doi.org/10.1007/s00161-022-01082-y>.
8. Wang, J., Zhang, C., Deng, Y., Zhang, P. (2022). A Review of Research on the Effect of Temperature on the Properties of Polyurethane Foams. *Polymers*, 14(21), 4586. <https://doi.org/10.3390/polym14214586>.
9. Ates, M., Karadag, S., Eker, A.A., Eker, B. (2022). Polyurethane foam materials and their industrial applications. *Polymer International*, 71(10), 1157-1163. <https://doi.org/10.1002/pi.6441>.
10. Ashrafizadeh, H., Mertiny, P., McDonald, A. (2016). Evaluation of the effect of temperature on mechanical properties and wear resistance of polyurethane elastomers. *Wear*, 368, 26-38. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2016.08.008>.
11. Izarra, I., Borreguero, A.M., Garrido, I., Rodríguez, J.F., Carmona, M. (2021). Comparison of flexible polyurethane foams properties from different polymer polyether polyols. *Polymer Testing*, 100, 107268. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2021.107268>.
12. Allami, T., Alamiery, A., Nassir, M.H., Kadhum, A.H. (2021). Investigating Physio-Thermo-Mechanical Properties of Polyurethane and Thermoplastics Nanocomposite in Various Applications. *Polymers*, 13(15), 2467. <https://doi.org/10.3390/polym13152467>.
13. Tognana, S., Salgueiro, W., Somoza, A., Pomarico, J.A., Ranea-Sandoval, H.F. (2009). Influence of the filler content on the thermal expansion behavior of an epoxy matrix particulate composite. *Materials Science and Engineering: B*, 157(1), 26-31. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2008.12.003>.
14. Vettegren', V.I., Bashkarev, A.Ya., Suslov, M.A. (2007). Influence of shape and concentration of filler particles on thermal expansion of polymer composites. *Journal of Technical Physics*, 77(10), 135-138. [In Russian].
15. Afanas'ev, A.V., Dudchenko, A.A., Rabinskiy, L.N. (2010). Influence of polymer composite material structure on residual stress-strain state. *Engineering Physics*, (7), 13-20. [In Russian].
16. Akindoyo, J.O., Beg, M.D.H., Ghazali, S., Islam, M.R., Jeyaratnam, N., Yuvaraj, A.R. (2016). Polyurethane types, synthesis and applications - a review. *RSC Advances*, 6(115), 114453-114482. <https://doi.org/10.1039/C6RA14525F>.
17. Galadari, M. (2023). Robust polyurethane-zeolite composites with diverse applications. *University of California, Los Angeles*.
18. Ferapontov, N.B., Tokmachev, M.G., Gagarin, A.N., Gerasimchuk, V.V., Pushkareva, I.V. (2014). Influence of polymer properties on conditions of their swelling in water and in aqueous solutions. *Sorption and chromatographic processes*, 14(5), 795-812. [In Russian].
19. Zuev, V.V., Uspenskaya, M.V., Zuev, V.V., Olekhovich, A.O. (2010). Physics and Chemistry of Polymers. *Textbook*, 45. [In Russian].
20. Intang, A., Susmanto, P., Bustan, M.D., Haryati, S. (2024). Determination of swelling operation parameters to improve the hierarchy of natural zeolite Lampung after synthesis. *South African Journal of Chemical Engineering*, 50, 125-134. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2024.08.004>.
21. Oikawa, N., Maesono, A., Tye, R.P. (1999). Thermal expansion measurements of quartz glass by laser interferometry. *Thermal conductivity*, 24, 405-416.
22. Hurley, M.F. (2001). Advances in polyurethane RRIM for automotive exteriors. *API Polyurethanes Expo*, 9.
23. Kuklin, V., Karandashov, S., Bobina, E., Drobyshev, S., Smirnova, A., Morozov, O., Danilaev, M. (2023). Analysis of aluminum oxides submicron particle agglomeration in polymethyl methacrylate composites. *International journal of molecular sciences*, 24(3), 1-9. <https://doi.org/10.3390/ijms24032515>.
24. Evans, N.T., Irvin, C.W., Safranski, D.L., Gall, K. (2016). Impact of surface porosity and topography on the mechanical behavior of high strength biomedical polymers. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 59, 459-473. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2016.02.033>.
25. Zeleniakienė, D., Kleveckas, T., Liukaitis, J., Marazas, G. (2003). The influence of porosity on stress and strain state of porous polymer materials. *Materials science*, 9(4), 358-362.
26. Bobina, E.A., Danilaev, M.P., Deberdeev, T.R., Drobyshev, S.V., Karandashov, S.A., Klabukov, M.A., Kuklin, V.A., Faizullin, K.V. (2023). Epoxy resin mechanical properties in composition with copper (I) oxide particles, encapsulated by polylactide with variable thickness. *Plasticheskie massy*, (11-12), 31-34. [In Russian]. <https://doi.org/10.35164/0554-2901-2023-11-12-31-34>.
27. Patel, D.K., Biswas, A., Maiti, P. (2016). Nanoparticle-induced phenomena in polyurethanes. *Advances in polyurethane biomaterials*, 171-194. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100614-6.00006-8>.
28. de Moura, A.P., da Silva, E.H., dos Santos, V.S., Galera, M.F., Sales, F.C.P., Elizario, S., de Moura, M.R., Rigo, V.A., da Costa, R.R.C. (2021). Structural and mechanical characterization of polyurethane-CaCO₃ composites synthesized at high calcium carbonate loading: An experimental and theoretical study. *Journal of Composite Materials*, 55(21), 2857-2866. <https://doi.org/10.1177/00219983219964>.
29. Prasad, A., Fotou, G., Li, S. (2013). The effect of polymer hardness, pore size, and porosity on the performance of thermoplastic polyurethane-based chemical mechanical polishing pads. *Journal of Materials Research*, 28(17), 2380-2393. <https://doi.org/10.1557/jmr.2013.173>.
30. Akhmadeev, A.A., Bogoslov, E.A., Danilaev, M.P., Klabukov, M.A., Kuklin, V.A. (2020). Influence of the Thickness of a Polymer Shell Applied to Surfaces of Submicron Filler Particles on the Properties of Polymer Composites. *Mech Compos Mater*, 56, 241-248. <https://doi.org/10.1007/s11029-020-09876-4>.

Information about the authors

M.P. Danilaev - Doctor of Sciences, Professor of the Department of "Electronic and Quantum Means of Information Transmission" of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI.

S.A. Karandashov - research engineer, interdisciplinary interuniversity laboratory, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI.

V.A. Kuklin - PhD, research engineer, interdisciplinary interuniversity laboratory, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI.

A.V. Polyayev - postgraduate student, Head of the Research Institute "CCS Technologies of Composites" Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI.

Yu.A. Tunakova - doctor of science, professor, head of general chemistry and ecology department of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI.

K.V. Fayzullin - PhD, Deputy Head of the Research and Development Department (RDD) of Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev - KAI.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 26 сентября 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 26 Sep 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.



Научная статья
2.6.17 – Материаловедение (технические науки)
УДК678.09

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.037



ХИМИЧЕСКИЙ РЕЦИКЛИНГ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ С ТЕРМОРЕАКТИВНОЙ МАТРИЦЕЙ В СРЕДЕ СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ЭТАНОЛА В ПРИСУТСТВИИ NaOH

Александр Евгеньевич Проценко¹, Илья Андреевич Люхо²

^{1, 2} Комсомольский-на-Амуре государственный университет, Комсомольск-на-Амуре, Россия

¹ protsenko.ae@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5238-6388>

² keltani@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-8390-531X>

Аннотация. В последние десятилетия вопросы рециклинга полимерных композитных материалов, особенно стеклопластиков, приобретают все большую актуальность в связи с возрастающим количеством отходов и устойчивостью данных материалов к воздействию окружающей среды. Композиты на основе термореактивных смол являются одними из наиболее сложных для переработки, что связано с их высокой термостойкостью и химической стабильностью. В работе рассматривается процесс рециклинга стеклопластиков с эпоксидной и эпоксивинилэфирной матрицами методом сольволиза в среде сверхкритического этанола в присутствии NaOH. С использованием методов термического анализа установлены зависимости степени деструкции матриц от времени и концентрации едкого натра. Установлено, что наилучшие результаты деструкции эпоксидной и эпоксивинилэфирной матриц достигаются при концентрации NaOH 0,3 г на 1 г композита при температуре 250 °С и времени обработки 5 часов. По данным термоанализа, установлено, что эпоксивинилэфирная матрица труднее поддается деструкции в рассматриваемых условиях. Восстановленные стеклянные наполнители были использованы для изготовления дисперсноармированных композитов, в которых содержание армирующего наполнителя варьировалось от 5 % до 60 %. Лучшие прочностные свойства были получены у композитов с содержанием восстановленных стеклянных наполнителей 30 м. %.

Ключевые слова: полимерные композитные материалы, стеклопластик, рециклинг, сольволиз, сверхкритическое состояние, деструкция

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-01137.

Для цитирования: Проценко А. Е., Люхо И. А. Химический рециклинг стеклопластиков с термореактивной матрицей в среде сверхкритического этанола в присутствии NaOH // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 212–217. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.037. EDN: <https://elibrary.ru/RVJLZT>.

Original article

CHEMICAL RECYCLING OF FIBERGLASS REINFORCED THERMOSETTING PLASTICS USING SUPERCRITICAL ETHANOL IN PRESENCE OF NaOH

Alexander E. Protsenko¹, Ilya A. Lyukho²

^{1, 2} Komsomolsky-on-Amur State University, Komsomolsk-on-Amur, Russia

¹ protsenko.ae@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5238-6388>

² keltani@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-8390-531X>

Abstract. In recent decades, the issues of recycling polymer composite materials, especially fiberglass, have gained increasing relevance due to the growing amount of waste and the environmental resistance of these materials. Thermosetting resin-based composites are among the most challenging to recycle because of their high thermal resistance and chemical stability. This study examines the recycling process of fiberglass composites with epoxy and epoxy vinyl ester matrices using solvolysis in a supercritical ethanol environment in the presence of NaOH. Using thermal analysis methods, the dependence of the matrix degradation degree on the time and concentration of caustic soda was established. The optimal conditions for the degradation of epoxy and epoxy vinyl ester matrices were found to be an NaOH concentration of 0,3 g per 1 g of composite, at a temperature of 250 °C, with a processing time of 5 hours. Thermal analysis indicated that the epoxy vinyl ester matrix is more resistant to degradation under the studied conditions. The recovered glass fillers were used to produce short fiber-reinforced composites, with reinforcement content varying from 5 % to 60 %. The best mechanical properties were achieved in composites containing 30 wt. % of the recovered glass fillers.

Keywords: polymer composite materials, fiberglass reinforced plastic, recycling, solvolysis, supercritical state, destruction.

Acknowledgements: The study was financially supported by the Russian Science Foundation within the framework of the scientific project No. 23-79-01137.

© Проценко А. Е., Люхо И. А., 2025

ХИМИЧЕСКИЙ РЕЦИКЛИНГ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ С ТЕРМОРЕАКТИВНОЙ МАТРИЦЕЙ В СРЕДЕ СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ЭТАНОЛА В ПРИСУТСТВИИ NaOH

For citation: Protsenko, A.E., Lyukho, I.A. (2025). Chemical recycling of fiberglass reinforced thermosetting plastics using supercritical ethanol in presence of NaOH. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 212-217. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.037. EDN: <https://elibrary.ru/RVJLZT>.

ВВЕДЕНИЕ

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) – наиболее перспективный материал, позволяющий возводить прочные и долговечные конструкции, устойчивые к воздействиям внешних факторов. Одним из преимуществ таких материалов является инертность к воздействию агрессивных сред и малый вес. Однако, как и другие материалы, они подвержены физическому износу, повреждениям и со временем утрачивают свои первоначальные свойства и подлежат замене. По данным литературных источников, жизненный цикл изделий из ПКМ может достигать 50 лет [1]. Отходы также возникают при производстве и обработке ПКМ. Таким образом, возникает необходимость переработки нарастающей массы высокоустойчивого отработанного материала, в основе которого находится полимерная термореактивная матрица. Естественная деградация таких материалов может достигать сотни лет [2].

На сегодняшний день для утилизации изделий из полимерных композитов распространение получили механические методы [3] и пиролиз [4]. При этом наиболее перспективными по эффективности и экологической безопасности являются химические методы.

Целью данного исследования является изучение процесса деструкции стеклопластиков методом сольволиза с извлечением стекловолокон для их последующего вторичного использования.

МЕТОДЫ

Объектом исследования выступали образцы стеклопластиков, изготовленные из 9 слоев стеклоткани марки 1250-T30-290 (Umatex), выложенных с углом армирования 0°. Для пропитки использовалось в одном случае эпоксивинилэфирное связующее Derakane Momentum 411-350 с отвердителем Butanox M50 (Ashland), в другом случае – двухкомпонентное эпоксидное связующее Sicomin SR8100/SD8824. Пропитка осуществлялась методом вакуумной инфузии.

Деструкция полимерной матрицы осуществлялась сольволизом в 90 % спиртовом растворе этанола. С целью интенсификации реакции использовался гидроксид натрия (NaOH), концентрация которого варьировалась от 0 до 0,4 г на 1 г композита [5].

Реактопласт помещался в герметичный реактор, состоящий из инертной фторопластовой капсулы-кладыша и металлической обечайки.

Процесс проводился при температуре 250 °C в течение 2–7 часов. Температура и концентрация щелочи были выбраны на основе предварительных исследований, которые показали, что такие условия обеспечивают эффективное разрушение матрицы без значительного разрушения стекловолокон [6, 7].

Для оценки степени деструкции матрицы использовался метод термогравиметрического анализа (ТГА) с использованием прибора STA 409 PC Luxx (Netzsch) [3]. Образцы подвергались нагреванию в среде воздуха, что позволяло регистрировать потери массы, связанные с разложением полимерной матрицы. Определение степени деструкции полимерной матрицы производилось по формуле:

$$\eta = \frac{(m_{\text{эт}} - m_{\text{обр}}) * 100}{m_{\text{эт}}},$$

где $m_{\text{эт}}$ – потеря массы эталонного образца, не подвергнувшегося сольволизу %;

$m_{\text{обр}}$ – потеря массы исследуемого образца, %.

Морфология поверхности стекловолокна исследовалась с использованием сканирующего микроскопа Hitachi SEM S-3400N, оснащенного электронной пушкой с вольфрамовым катодом, которая использовалась для микроструктурного анализа. Измерения проводились при ускоряющем напряжении 3 кВ с помощью детектора вторичных электронов (ДЭ).

После успешного извлечения стекловолокон из стеклопластиков методом сольволиза основная задача состояла в создании новых композитов с использованием этих вторичных волокон.

Для получения новых композитов брались извлеченные стекловолокна, которые были введены в эпоксидную матрицу на основе связующего SR8100/SD8824 (Sicomin). Содержание волокнистого наполнителя варьировалось от 0 % до 60 % для оценки влияния его концентрации на свойства конечных дисперсноармированных композитов.

Вторичные волокна, извлеченные после процесса сольволиза, были предварительно измельчены для равномерного распределения в матрице. С использованием ситового классификатора получена фракция коротких волокон размером менее 0,4 мм, в основном содержащая волокна размером 10–60 мкм (рис. 1).

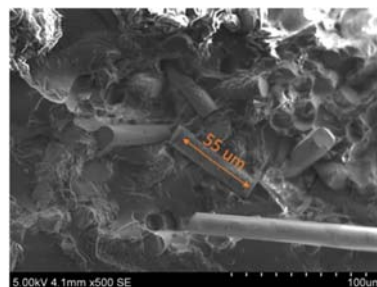


Рисунок 1 – Измерение размеров волокон

Fig. 1 – Fiber size measurement

Волокна смешивались с эпоксидным связующим при различных массовых соотношениях (5 %, 10 %, 30 %, 50 %, 60 %) для получения композитов с разной степенью армирования. Полученные смеси помещались в литевые формы, отверждались при комнатной температуре в течение 24 часов для достижения максимальной прочности и структурной однородности. Помимо этого, были изготовлены пластмассы на основе стеклосфер марки MC-ВП-A9.

Для оценки возможности повторного использования стекловолокон, извлеченных в процессе сольволиза, были проведены испытания на прочность при растяжении. Эти испытания проводились в соответствии с ГОСТ 6943.5-79 на универсальном испытательном стенде ZQ-21A (Zhiqu, Китай), оснащенный прецизионным динамометром DS2-2N (Zhiqu, Китай). Метод заключался в закреплении одиночного волокна в оправку, после чего волокно растягивалось до разрушения. Регистрировалась максимальная нагрузка, которую выдерживало волокно до момента разрушения.

Предел прочности при трехточечном изгибе композитов, изготовленных с использованием извлеченных стекловолокон, определялся на испытательной машине Instron 3382 в соответствии с ГОСТ Р 56810-2015. Образцы размерами 15x3x70 мм подвергались нагружению со скоростью 2 мм/мин.

Испытания на сжатие проводились в соответствии с ГОСТ 4651-2014 для определения прочностных характеристик образцов при сжимающей нагрузке. Образцы из вторичных стекловолокон формировались в виде параллелепипедов с размерами 3х5х6 мм, которые затем подвергались нагружению до разрушения.

Твердость композитов, изготовленных с использованием вторичных стекловолокон, исследовалась с помощью измерителя твердости ТН600 (Time Inc.) методом Бринелля. Испытания проводились с нагрузкой 2452 Н на плоских образцах толщиной не менее 7 мм.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследование влияния концентрации NaOH на скорость и степень деструкции

Известно, что NaOH легко распадается на ионы, помимо этого щелочь взаимодействует с продуктами разложения матрицы и наполнителем [8]. Высокая концентрация NaOH может привести к значительному повреждению волокон при взаимодействии щелочи и стекла [7]. Повреждения волокон имеют характерный вид: эрозия, значительная неровность поверхности и трещины.

С целью установления оптимальной концентрации NaOH проведена серия экспериментов по сольволизу стеклопластиков на основе эпоксидной и эпоксивинилэфирной матриц при температуре 250 °С и времени выдержки 3 часа. Зависимость степени деструкции композитов от массы щелочи представлена на рисунке 2.

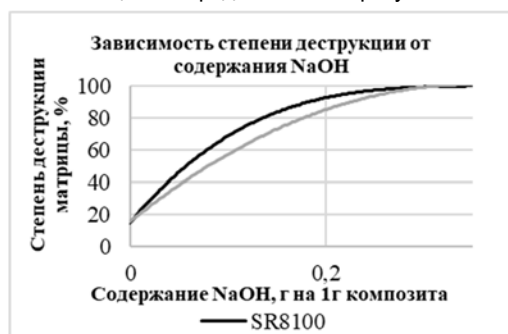


Рисунок 2 – Зависимость степени деструкции от содержания NaOH

Fig. 2 – Dependence of the degree of degradation on NaOH content

Результаты экспериментов показали, что с увеличением концентрации NaOH степень деструкции значительно возрастает. При концентрации NaOH 0,1 г на 1 г композита степень разрушения полимерной матрицы составляла около 70 % для эпоксидной матрицы и 58 % для эпоксивинилэфирной матрицы, что свидетельствует о частичном разрушении матрицы и незначительной очистке стекловолокон. Увеличение концентрации до 0,2 г NaOH приводит к существенному ускорению процесса деструкции, и степень разрушения матрицы достигала 85 % для эпоксивинилэфирной и 92 % для эпоксидной матриц. Максимальные значения были достигнуты при концентрации NaOH 0,3 г, когда степень деструкции полимерной матрицы превышала 97 %, что свидетельствовало о практически полном разрушении матрицы и полном освобождении стекловолокон. Однако при дальнейшем увеличении концентрации NaOH до 0,4 г существенного повышения эффективности процесса деструкции не наблюдалось, а, напротив, происходила частичная деструкция самих стекловолокон.

Таким образом, оптимальная концентрация NaOH была определена на уровне 0,3 г NaOH на 1 г композита, что обеспечивает достижение наибольшей степени деструкции при сохранении механических свойств стекловолокон.

Влияние времени на степень деструкции

Так как длительность процесса влияет на степень деструкции матрицы, то необходимо установить зависимость степени деструкции полимерной матрицы от времени сольволиза. Для этого была проведена серия экспериментов, направленных на установление оптимального режима процесса, в котором будет происходить максимальное разрушение матрицы при наименьших энергетических затратах. Содержание NaOH во всех случаях составляло 0,1 г к 1 г композита. Результаты экспериментальных исследований представлены на рисунке 3.

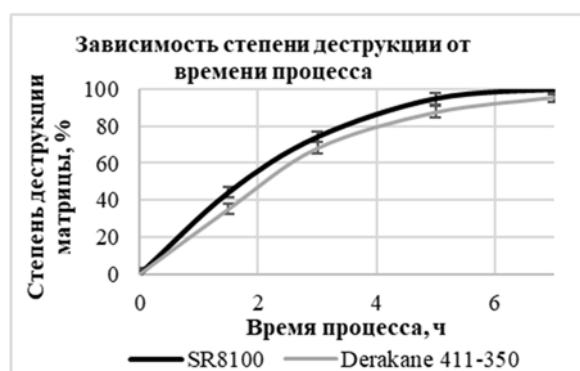


Рисунок 3 – Зависимость степени деструкции от времени процесса

Fig. 3 – Dependence of the degree of degradation on process time

При времени сольволиза 1,5 часа степень деструкции матрицы составляет около 35 % для эпоксивинилэфирной и 45 % для эпоксидной матриц, это указывает на частичное разрушение полимера и неполное извлечение стекловолокон. При увеличении времени до 3 часов степень деструкции возрастает до 68 % для эпоксивинилэфирной матрицы и 74 % для эпоксидной матрицы. При 5 часах экспозиции образцов в реакционной среде степень деструкции достигает 90 % для обоих типов матриц. Дальнейшее увеличение продолжительности сольволиза приводит к незначительному росту степени деструкции эпоксидной матрицы, о чем свидетельствует плато на кривой. При этом более продолжительное воздействие щелочной среды приводит к частичному разрушению стекловолокон.

Таким образом, диапазон 3–5 часов можно считать оптимальным для проведения процесса сольволиза полимерных композитов на основе эпоксидной и эпоксивинилэфирной матриц с целью получения восстановленного наполнителя. При этом следует учитывать, что в щелочной среде стекловолокна также подвергаются деструкции [9], в результате чего продолжительное воздействие будет пагубно влиять на их прочностные свойства.

Морфологические исследования стекловолокон после деструкции

Результаты показали, что степень деградации прочности стекловолоконных наполнителей напрямую зависит от концентрации щелочи в реакционной среде, что также подтверждается результатами в

ХИМИЧЕСКИЙ РЕЦИКЛИНГ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ С ТЕРМОРЕАКТИВНОЙ МАТРИЦЕЙ В СРЕДЕ СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ЭТАНОЛА В ПРИСУТСТВИИ NaOH

работе [10]. Первоначальное стекловолокно гладкое (рисунок 4, а), его диаметр составляет 15,03 мкм.

При низких концентрациях NaOH (до 0,1 г на 1 г композита, рисунок 4, б) волокна сохраняли свою структуру, а их поверхность оставалась однородной с небольшими следами эрозии. Диаметр волокон уменьшился до 14,7 мкм. Также в местах контакта утка и основы иногда наблюдаются остатки полимерной матрицы, которые не были полностью удалены в результате сольволиза.

Однако при концентрациях NaOH, превышающих 0,3 г, (рисунок 4, в) на поверхности волокон начали появляться дефекты – трещины, эрозия и неорганические отложения, что свидетельствует о необратимом начале разрушения самих волокон. Диаметр в среднем составил 11,1 мкм. Аналогичная картина будет наблюдаться при низкой концентрации щелочи в реакционной среде, но длительном времени воздействия. Утончение волокон свидетельствует о разрушении поверхности и отслаивании поверхностного слоя [7, 10], что существенно ухудшает прочностные свойства.

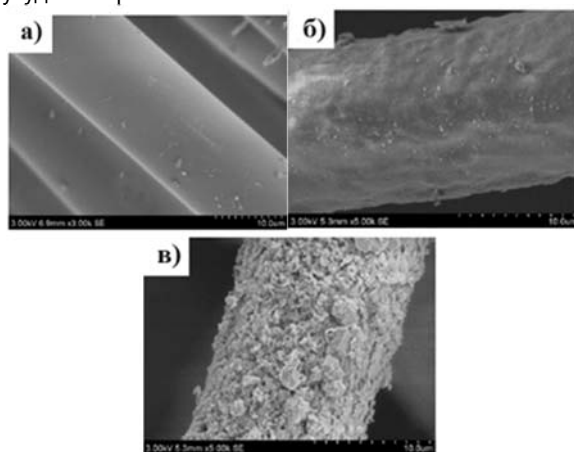


Рисунок 4 – Сравнение волокон до и после деградации:
а) до деградации, б) 0,1 г/г NaOH, в) 0,3 г/г NaOH

Fig. 4 – Comparison of fibers before and after degradation:
(a) before degradation, (b) 0,1 g/g NaOH, (c) 0,3 g/g NaOH

Прочностные свойства извлечённых стекловолокон

Для оценки возможности повторного использования стекловолокон, извлечённых в процессе сольволиза, были проведены испытания на прочность при растяжении в соответствии с ГОСТ 6943.5-79 (рис. 5).

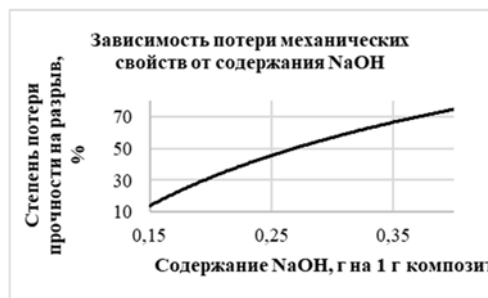


Рисунок 5 – Зависимость потери прочности на разрыв от содержания NaOH

Fig. 5 – Dependence of tensile strength loss on NaOH content

Результаты показали, что извлечённые волокна сохраняют до 85 % своей исходной прочности при оптимальных условиях сольволиза (0,15 г NaOH и 3 часа обработки), однако в данных условиях поли-

мерная матрица не удаляется полностью, что подтверждается данными на рис. 5. При увеличении концентрации NaOH до 0,4 г или увеличении времени обработки до 5 часов наблюдалось значительное снижение прочностных характеристик волокон – до 20 % от исходных значений. Это связано с появлением дефектов на поверхности волокон, вызванных обработкой щелочной среды (рис. 4, б, в), что также подтверждается результатами, представленным в работе [7].

Так как большая часть стеклянных волокон повреждена при сольволизе и площадь листов уцелевшей ткани слишком мала, то использование данных волокон в первоначальном виде затруднительно. Поэтому было решено измельчить данные наполнители до однородного состояния и использовать их для получения дисперсноармированных композитов. Данные материалы могут быть использованы в качестве высокопрочных клеевых композиций. Измельченные волокна просеивались через набор сит, после чего фракция размером 10–60 мкм вводилась в эпоксидное связующее в различных соотношениях. После отверждения из пластин дисперсноармированных пластмасс изготавливались образцы для оценки физико-механических свойств. Так как стеклосферы находят широкое применение в качестве наполнителя различных клеевых компаундов [11], в исследовании в качестве образца сравнения использовался композит на их основе с аналогичной матрицей.

Прочностные свойства полученных дисперсноармированных пластмасс представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Прочностные свойства пластмасс

Table 1 – Strength properties of plastics

Стеклопластики на основе рубленых стекловолокон			
Содержание волокон (%)	Прочность при изгибе (МПа)	Прочность при сжатии (МПа)	Твердость (НВ)
0	180,84	43,5	14,58
10	162,32	54,7	15,16
30	153,23	64,3	31,56
50	115,96	52,3	18,72
Стеклопластики на основе стеклосфер			
10	140,75	46,4	18,5
15	109,13	53,1	22,6
20	59,3	58,2	26,1

По данным, представленным в таблице 1, наблюдается снижение максимальной нагрузки при трехточечном изгибе, что приводит к снижению прочности. Данный факт вызван увеличением хрупкости образцов. Свойства композитов на изгиб, полученных с использованием стеклосфер, ухудшаются значительно быстрее, чем у образцов с измельченными волокнами, что связано с размером и геометрией наполнителя.

Снижение прочности при изгибе с увеличением содержания измельченных волокон может быть обусловлено рядом факторов. С одной стороны, введение высокомодульных волокон приводит к повышению жесткости материала. С другой стороны, при больших концентрациях наполнителя возрастает вероятность скоплений волокон, которые выступают в роли концентраторов напряжений.

Испытания на сжатие проводились в соответствии с ГОСТ 4651-2014. Образцы с содержанием стекловолокон 10 %, 15 %, 30 % и 50 % были подвергнуты нагрузке до разрушения. Результаты пока-

зали, что композиты с 30 % содержанием стекловолокон имели наивысшую прочность при сжатии – 64,3 МПа, что также превосходит значения для неармированных композитов (43,5 МПа).

Результаты испытаний на сжатие показали, что прочность композитов с увеличением содержания волокон сначала растёт, но при концентрации волокон выше 50 % прочностные свойства начинают ухудшаться. Это связано с тем, что при высоких концентрациях армирующий наполнитель неравномерно распределяется в матрице, что ведёт к образованию слабых зон и растрескиванию при сжатии [8].

Твёрдость композитов исследовалась методом Бринелля с использованием прибора ТН600 (Time Inc.). Результаты показали, что увеличение содержания стекловолокон приводит к повышению твёрдости материала. Образцы с 30 % содержанием волокон имели твёрдость 18,72 НВ, что значительно выше, чем у неармированных композитов (14,58 НВ). Твёрдость пластиков на основе стеклосфер выше (18,5 НВ для 10 % содержания), что связано с большей жесткостью стеклосфер и растёт быстрее с увеличением их содержания.

Исследование микроструктуры. Для исследования распределения волокон в матрице и анализа структуры поверхности композитов использовался сканирующий электронный микроскоп Hitachi SEM S-3400N. СЭМ-изображения показали, что при содержании волокон до 30 % (рис. 6, б, в) армирующий наполнитель распределён равномерно, что способствует эффективной передаче напряжений между волокнами и матрицей (изотропности композитов) [12].

Наличие коротких волокон способствует повышению прочности, жесткости и трещиностойкости материала за счет эффективного распределения напряжений между полимером и армирующим наполнителем [12]. Вместе с тем, высокое содержание наполнителя может привести к ухудшению технологических свойств из-за высокой вязкости.

Однако при содержании волокон выше 50 % (рисунк 6, г) наблюдались агломераты волокон и неравномерное распределение, что негативно сказывалось на механических свойствах композитов, это является распространенной проблемой данных пластмасс [13].

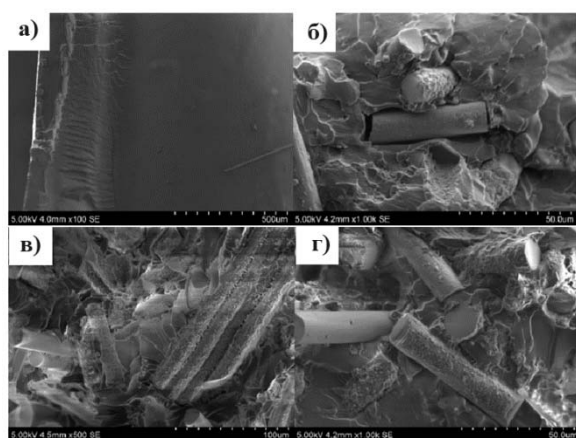


Рисунок 6 – Микроскопия полученных пластмасс: а) образец I (0 %), б) образец II (10 %), в) образец III (30 %), г) образец IV (50 %)

Fig. 6 – Microscopy of obtained plastics: (a) sample I (0%), (b) sample II (10%), (c) sample III (30%), (d) sample IV (50%)

Общая тенденция показала, что композиты с 30 % содержанием извлечённых стекловолокон демонстрировали лучшие механические свойства: высокую прочность на сжатие, повышенную твердость и хорошее распределение волокон в матрице. Однако при увеличении содержания волокон до 50 % (рисунк 6, г) и более свойства композитов ухудшались, что связано с проблемами равномерного распределения волокон в полимерной матрице.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе был исследован процесс деструкции стеклопластиков с эпоксидной и эпоксивинилэфирной матрицами в присутствии щелочи. Экспериментально получены зависимости степени деструкции реактопластичных матриц от концентрации NaOH и времени процесса. Установлено, что при концентрации NaOH 0,3 г на 1 г композита и температуре 250 °C за 5 часов удается разрушить до 90 % полимерной матрицы. При этом увеличение времени обработки и повышение концентрации NaOH до 0,4 г снижает прочность волокон на 75 %.

Извлеченные волокна измельчались, после чего использовались в качестве наполнителя для получения дисперсноармированных стеклопластиков. Содержание наполнителя в образцах пластмасс варьировалось в диапазоне от 5 до 60 %. Установлено, что композиты, содержащие 30 % наполнителя, обладают лучшими прочностными свойствами: прочность на сжатие 64,3 МПа и твердость 18,72 НВ. При этом прочность полученных дисперсноармированных пластиков оказалась выше, чем в случае использования стеклосфер в качестве наполнителя. Таким образом, разработанный метод позволяет эффективно перерабатывать стеклопластики и получать сырье для новых композитов с улучшенными физико-механическими свойствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kablov E.N., Startsev V.O. Climatic aging of aviation polymer composite materials: I. Influence of significant factors // Russian metallurgy (Metally). 2020. Т. 2020. № 4. С. 364–372. DOI: 10.1134/S0036029520040102.
2. Volkova K.V. [et al.]. Study of plasmachemical processing effect on the properties of polymer films based on polyvinylchloride // Journal Scientific and Technical Of Information Technologies, Mechanics and Optics. 2017. Т. 111. № 5. С. 834–840. DOI: 10.17586/2226-1494-2017-11-5-834-840.
3. Ильиных Г.В. Основные направления утилизации углепластиков // Бюллетень науки и практики. 2019. Т. 5. № 12. С. 69–78.
4. Protsenko A., Lyukho I., Petrov V. Extraction of chemical components from polymer composites waste // AIP Conference Proceedings. AIP Publishing, 2023. Т. 2910. № 1. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0169381>.
5. Проценко А.Е. [и др.]. Химический рециклинг стеклопластиков с термореактивной матрицей в среде сверхкритического этанола: QFXUVR // Ползуновский вестник. 2023. № 2. С. 193–200. DOI: <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2023.02.025>.
6. Protsenko A.E., Petrov V.V. Strengthening of glass fibers obtained by recycling of polymer composite material // Strengthening Technologies and Coatings. Innovative Mashinostroyeniye Publishing, 2022. Vol. 18. P. 347–351. DOI: <https://doi.org/10.36652/1813-1336-2022-18-8-347-351>.
7. Protsenko A.E., Petrov V.V. Recycling of fiberglass fillers obtained from polymer composites based on an epoxy vinyl ester binder // Mechanics of Composite Materials. 2022. Т. 58. № 4. С. 537–544. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11029-022-10048-9>.

ХИМИЧЕСКИЙ РЕЦИКЛИНГ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ С ТЕРМОРЕАКТИВНОЙ МАТРИЦЕЙ В СРЕДЕ СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ЭТАНОЛА В ПРИСУТСТВИИ NaOH

8. Whalen D.L. Mechanisms of hydrolysis and rearrangements of epoxides // *Advances in Physical Organic Chemistry*. 2005. Т. 40. С. 247–298. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-3160\(05\)40006-4](https://doi.org/10.1016/S0065-3160(05)40006-4).

9. Старцев В.О. Влияние агрессивных жидкостей на свойства полимерных композиционных материалов (обзор) // *Труды ВИАМ*. 2022. № 8 (114). С. 98–112.

10. Liu J. [et al.]. Tensile behaviors of ECR-glass and high strength glass fibers after NaOH treatment // *Ceramics International*. 2013. Т. 39. № 8. С. 9173–9178. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2013.05.018>.

11. Старшова Я.В., Панфилов Д.А. Применение микроскофер для регулирования свойств полимерных композиционных материалов // *Пластические массы*. 2023. Т. 1. № 5–6. С. 37–40.

12. Ashraf M.A. [et al.]. Effects of size and aggregation/agglomeration of nanoparticles on the interfacial/interphase properties and tensile strength of polymer nanocomposites // *Nanoscale research letters*. 2018. Т. 13. С. 1–7. DOI: <https://doi.org/10.1186/s11671-018-2624-0>.

13. Sevenois R.D.B. [et al.]. Numerical study on the effect of matrix self-heating on the thermo-visco-plastic response of continuous fiber-reinforced polymers under transverse tensile loading // *Polymers*. 2022. Т. 14. № 10. С. 1941. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym14101941>.

Информация об авторах

А. Е. Проценко – кандидат технических наук, доцент кафедры «ХиХТ» Комсомольского-на-Амуре государственного университета.

И. А. Люхо – аспирант Комсомольского-на-Амуре государственного университета.

REFERENCES

1. Kablov, E.N. & Startsev, V.O. (2020). Climatic aging of aviation polymer composite materials: I. Influence of significant factors. *Russian metallurgy (Metally)*, 2020(4), 364–372. DOI: 10.1134/S0036029520040102.

2. Volkova, K.V., Trotsenko, I.V. & Valerievna, U.M. (2017). Study of plasmachemical processing effect on the properties of polymer films based on polyvinylchloride. *Journal Scientific and Technical Of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 111(5), 834–840. DOI: 10.17586/2226-1494-2017-17-5-834-840

3. Ильиных, Г.В. (2019). Основные направления утилизации углепластиков. *Бюллетень науки и практики*, 5(12), 69–78.

4. Protsenko, A., Lyukho, I. & Petrov, V. (2023, October). Extraction of chemical components from polymer composites waste. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2910,

No. 1). AIP Publishing. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0169381>

5. Проценко, А.Е., Петров, В.В., Проценко, А.Н. & Люхо, И.А. (2023). Химический рециклинг стеклопластиков с термореактивной матрицей в среде сверхкритического этанола: QFXUVR. *Ползуновский вестник*, (2), 193–200. DOI: <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2023.02.025>.

6. Protsenko, A. & Petrov, V. (2022). Strengthening of glass fibers obtained by recycling of polymer composite material. *Strengthening Technologies and Coatings*, 347–351. DOI: <https://doi.org/10.36652/1813-1336-2022-18-8-347-351>.

7. Protsenko, A.E. & Petrov, V.V. (2022). Recycling of fiberglass fillers obtained from polymer composites based on an epoxy vinyl ester binder. *Mechanics of Composite Materials*, 58(4), 537–544. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11029-022-10048-9>.

8. Whalen, D.L. (2005). Mechanisms of hydrolysis and rearrangements of epoxides. *Advances in Physical Organic Chemistry*, 40, 247–298. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-3160\(05\)40006-4](https://doi.org/10.1016/S0065-3160(05)40006-4).

9. Старцев, В.О. (2022). Влияние агрессивных жидкостей на свойства полимерных композиционных материалов (обзор). *Труды ВИАМ*, (8 (114)), 98–112.

10. Liu, J., Jiang, M., Wang, Y., Wu, G. & Wu, Z. (2013). Tensile behaviors of ECR-glass and high strength glass fibers after NaOH treatment. *Ceramics International*, 39(8), 9173–9178. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2013.05.018>.

11. Старшова, Я.В. & Панфилов, Д.А. (2023). Применение микроскофер для регулирования свойств полимерных композиционных материалов. *Пластические массы*, 1(5-6), 37–40.

12. Ashraf, M.A., Peng, W., Zare, Y. & Rhee, K.Y. (2018). Effects of size and aggregation/agglomeration of nanoparticles on the interfacial/interphase properties and tensile strength of polymer nanocomposites. *Nanoscale research letters*, 13, 1–7. <https://doi.org/10.1186/s11671-018-2624-0>.

13. Sevenois, R.D., Hao, P., Van Paepegem, W. & Gilabert, F.A. (2022). Numerical study on the effect of matrix self-heating on the thermo-visco-plastic response of continuous fiber-reinforced polymers under transverse tensile loading. *Polymers*, 14(10), 1941. <https://doi.org/10.3390/polym14101941>.

Information about the authors

A.E. Protsenko - Candidate of Technical Sciences. Associate Professor of the Department of "ChiCT" Komsomolsk-on-Amur State University.

I.A. Lyukho - postgraduate student Komsomolsk-on-Amur State University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 17 декабря 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 17 Dec 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.



Научная статья
2.6.17 – Материаловедение (технические науки)
УДК 621.791.042.3

ВЛИЯНИЕ КРЕМНИЯ НА УПРОЧНЕНИЕ И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ БЕЗКОБАЛЬТОВОЙ МАРТЕНСИТНОСТАРЕЮЩЕЙ СТАЛИ НА НИКЕЛЬХРОМОВОЙ ОСНОВЕ

Евгений Николаевич Еремин ¹, Никита Кузьмин ²,
Александр Сергеевич Лосев ³, Сергей Александрович Бородин ⁴,
Иван Андреевич Пономарёв ⁵

1, 2, 3, 4, 5 Омский государственный технический университет, Омск, Россия

¹ weld_techn@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7357-8194>

² kuzmin1995nikita@yandex.ru, <http://orcid.org/0009-0002-5357-1619>

³ alesha-los@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7970-4219>

⁴ savorodikhin@omgtu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8038-9551>

⁵ don_13@bk.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8016-3616>

Аннотация. Исследовано влияние кремния на упрочнение и износостойкость мартенситностареющей стали системы Fe-Ni-Cr-Mo-Ti-Al. Металл для исследований получали наплавкой порошковой проволокой Н7Х6М2ТЮ легированной кремнием. Установлено, что средняя твердость такого металла после наплавки составляет 37 HRC, после старения – 53 HRC. Степень упрочнения в результате старения достигает 43 %. Микротвердость матрицы находится в пределах 729–776 HV, а упрочняющих фаз – 903–947 HV. Показано, что такой металл обладает достаточно высокой износостойкостью. Его значение массового износа после старения за испытание составляет $2,83 \times 10^{-3}$ г, а значение линейного износа – $6,21 \times 10^{-3}$ мм, что в 1,8 раза меньше, чем у стали без кремния. Выявлен комплекс дисперсных фаз, выделившихся после старения, определяющий упрочнение и износостойкость такой стали. По результатам проведенных исследований сделан вывод, о том, что порошковая проволока Н7Х6М2С2ТЮ может быть использована для наплавки деталей, работающих в условиях трения металла о металл.

Ключевые слова: наплавка, никельхромовая сталь, порошковая проволока, легирование, износостойкость, дюрOMETрические свойства, упрочняющие фазы.

Для цитирования: Влияние кремния на упрочнение и износостойкость безкобальтовой мартенситностареющей стали на никельхромовой основе / Е. Н. Еремин [и др.] // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 218–223. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.038. EDN: <https://elibrary.ru/NGYCCZ>.

Original article

EFFECT OF SILICON ON HARDENING AND WEAR RESISTANCE OF COBALT-FREE MARTENSITIC-AGING NICKEL-CHROMIUM-BASED STEEL

Evgenii N. Eremin ¹, Nikita Kuzmin ², Aleksandr S. Losev ³,
Sergei A. Borodikhin ⁴, Ivan A. Ponomarev ⁵

1, 2, 3, 4, 5 Omsk State Technical University, Omsk, Russia

¹ weld_techn@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7357-8194>

² kuzmin1995nikita@yandex.ru, <http://orcid.org/0009-0002-5357-1619>

³ alesha-los@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7970-4219>

⁴ savorodikhin@omgtu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8038-9551>

⁵ don_13@bk.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8016-3616>

Abstract. The effect of silicon on the hardening and wear resistance of martensitic aging steel of the Fe-Ni-Cr-Mo-Ti-Al system has been studied. The metal for the research was obtained by surfacing with a powder wire Ni7Cr6Mo2TiAl alloyed with silicon. It was found that the average hardness of such a metal after surfacing is 37 HRC, after aging - 53 HRC. The degree of hardening as a result of aging reaches 43 %. The microhardness of the matrix is in the range of 729-776 HV, and the hardening phases are 903-947 HV. It is shown that such a metal has a sufficiently high wear resistance. Its value of mass wear after aging, per test, is 2.83×10^{-3} g, and the value of linear wear is 6.21×10^{-3} mm, which is 1.8 times less than that of steel without silicon. A complex of dispersed phases released after aging has been

© Еремин Е. Н., Кузьмин Н., Лосев А. С., Бородин С. А., Пономарёв И. А., 2025

ВЛИЯНИЕ КРЕМНИЯ НА УПРОЧНЕНИЕ И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ БЕЗКОБАЛЬТОВОЙ МАРТЕНСИТНОСТАРЕЮЩЕЙ СТАЛИ НА НИКЕЛЬХРОМОВОЙ ОСНОВЕ

identified, which determines the hardening and wear resistance of such steel. Based on the results of the conducted research, it was concluded that the Ni7Cr6Mo2Si2TiAl powder wire can be used for surfacing parts operating under conditions of metal-on-metal friction.

Keywords: surfacing, nickel chrome steel, powder wire, alloying, wear resistance, durometric properties, hardening phases.

For citation: Eremin, E.N., Kuzmin, N., Losev, A.S., Borodikhin, S.A. & Ponomarev, I.A. (2025). Effect of silicon on hardening and wear resistance of cobalt-free martensitic-aging nickel-chromium-based steel. Polzunovskiy vestnik, (3), 218-223. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.038. EDN: <https://elibrary.ru/NGYCCZ>.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема повышения ресурса работы деталей оборудования металлургического и машиностроительного назначения связана в значительной мере с упрочнением их поверхности износостойкими материалами, обладающими особыми механическими и эксплуатационными свойствами.

Одной из наиболее распространенных технологий повышения ресурса работы деталей машиностроения является нанесение износостойких покрытий дуговой наплавкой порошковыми проволоками [1–3].

Среди большого разнообразия материалов, наплавляемых порошковыми проволоками, находят применение и мартенситно-стареющие стали [4–6]. В результате несложной термической обработки – старения, в таких сталях имеет место эффект вторичного твердения (упрочнения), обусловленный выделением в мартенсите дисперсных частиц. Наиболее изучены высокопрочные стали с высокой концентрацией никеля, кобальта и молибдена системы Fe-Ni-Co-Mo-Ti-Al [7–9]. Однако эффективность применения таких материалов низка вследствие их высокой стоимости.

Более перспективны экономнолегированные мартенситно-стареющие стали (МСС) также с эффектом вторичного твердения [10, 11].

В работах [8, 9] также изучена возможность замены кобальта в мартенситно-стареющих сталях дру-

гими элементами. Установлено, что использование вместо кобальта, хрома в сочетании с титаном и алюминием увеличивает упрочнение железоникелевого мартенсита при старении. Показано, что изменяя содержание молибдена, титана, алюминия можно получать стали с высокой прочностью. Для обеспечения мартенситной матрицы такие стали содержат 6–10 % Ni и 4–6 % Cr. Для создания эффекта вторичного твердения такую сталь легируют молибденом до 3 % и титаном с алюминием до 1 %. Но даже при таком легировании их твердость и износостойкость невысока.

Дополнительное легирование такой стали кремнием в концентрации до 2 % [9, 12, 13] может повысить степень её упрочнения и износостойкость.

Исходя из вышеизложенного можно полагать, что перспективной композицией экономнолегированной мартенситно-стареющей стали может быть система Fe-Ni-Cr-Mo-Si-Ti-Al. В связи с этим, представляет интерес исследования упрочнения такой стали и особенности её износостойкости в результате старения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследований являлись две композиции низкоуглеродистой мартенситно-стареющей стали Н7Х6М2ТЮ как с кремнием, так и без него, полученных наплавкой порошковыми проволоками, расчетные составы которых приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Расчетные составы экспериментальных порошковых проволок, %

Table 1 – Calculated compositions of experimental powder wires, %

Состав	Количественный состав порошковой проволоки, %							Fe порошок
	Ni	Cr	Mo	FeSi	FeAl	FeTi	Na ₂ SiF ₆	
1	7,5	6,5	2,5	0	2,0	5,0	0,3	23,8
2	7,5	6,5	2,5	2,5	2,0	5,0	0,3	21,2

Термическую обработку (старение) проводили при температуре 550 °С и выдержке в течение 2 ч [9, 14].

Металлографию исследуемых составов проводили на оптическом микроскопе AXIO Observer A1m (Carl Zeiss).

Степень упрочнения устанавливали по результатам измерения твердости металла после наплавки и старения на приборе Металаб 452. Микротвердость матрицы и фазовых составляющих структуры металла определяли на приборе Shimadzu HVM-2 при нагрузке 10 г.

Концентрацию основных легирующих элементов в металле определяли на оптико-эмиссионном спектрометре Искролайн 300 и анализаторе МЕТАВАК-CS30.

Испытания на износ осуществляли по схеме палец – вращающийся диск, на машине трения УМТ-2168. На диск производилась кольцевая наплавка валика с твердостью 60 HRC. После шлифовки валика по его поверхности осуществлялся контакт с образцами в виде пальца, торец которого наплавлялся исследуемым составом.

Таблица 2 – Содержание элементов в исследуемых составах, %

Table 2 – The content of elements in the studied compositions, %

№ п/п	C	Ni	Cr	Mo	Si	Ti	Al	Fe
1	0,12	7,11	6,02	2,02	0,1	1,67	0,44	ост.
2	0,16	7,08	6,05	2,09	1,86	1,62	0,61	ост.

Наличие углерода в исследуемых составах объясняется переходом его в наплавленный металл из компонентов порошковой проволоки и металла подложки. Возможный переход в наплавленный металл других элементов не определялся. Установлено, что средняя твердость металла состава 1 после наплавки составляет 35 HRC, а состава 2 – 37 HRC. После старения твердость металла состава 1 возросла до 44 HRC, а состава 2 – до 53 HRC. Степень упрочнения в результате старения для состава 1 до-

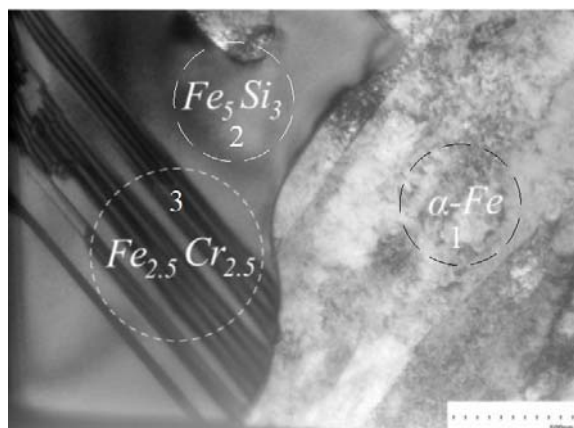
стигает 27 %, а для состава 2 – 43 %. Как видно, металл, легированный кремнием по эффекту вторичного твердения, значительно превосходит металл, в который не вводился кремний, что и подтвердило высказанное ранее предположение о его положительном влиянии. В связи с этим дальнейшие исследования были проведены с составом 2 (H7X6M2C2TЮ).

Результаты испытаний на изнашивание металла состава 2 после старения приведены в таблице 3.

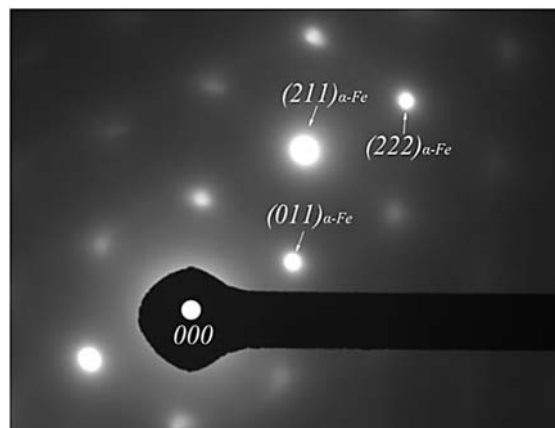
Таблица 3 – Износостойкость наплавленного металла состава 2 после старения

Table 3 – Wear resistance of the deposited metal of composition 2 after aging

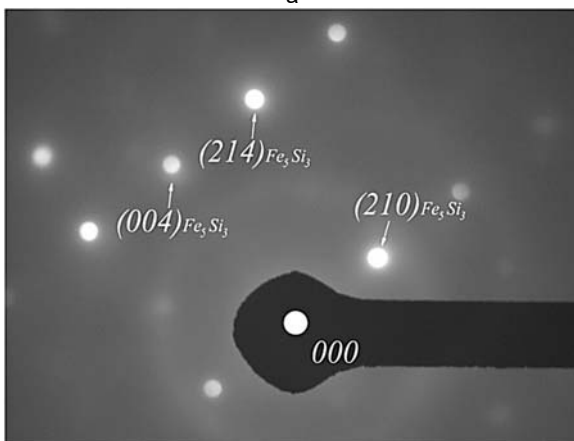
Путь трения S, м	Относительный массовый износ ($\times 10^{-3}$), г/м	Массовый износ ($\times 10^{-3}$), г	Относительный износ по длине ($\times 10^{-3}$), мм	Изменение длины Δl ($\times 10^{-3}$), мм
0–113	0,02	0,02	0	0
113–226	0,06	0,08	0,03	0,03
226–339	0,41	0,49	0,62	0,65
339–452	0,34	0,83	0,86	1,51
452–565	0,36	1,19	0,74	2,25
565–678	0,33	1,52	0,80	3,05
678–791	0,38	1,90	0,94	3,99
791–904	0,30	2,20	0,71	4,70
904–1017	0,32	2,52	0,71	5,41
1017–1130	0,31	2,83	0,80	6,21
0–1130	0,34	2,83	0,77	6,21



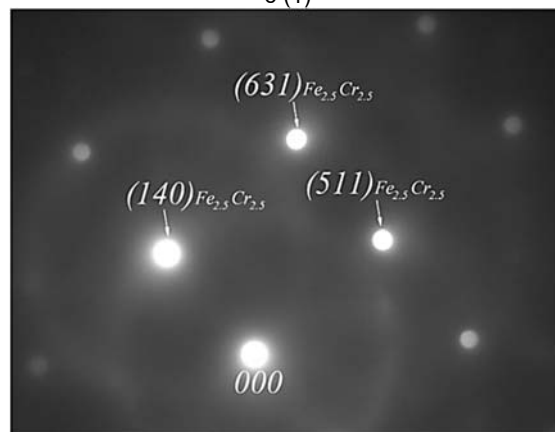
а



б (1)



б (2)



б (3)

Рисунок 1 – Тонкая структура первого участка: а) общий вид характерного участка структуры; б) основные рефлексы с микродифракции структуры (рис. 3, а): б (1) – фаза α -Fe, б (2) – фаза Fe_5Si_3 , б (3) – фаза $\text{Fe}_{2.5}\text{Cr}_{2.5}$

Figure 1 – The thin structure of the first section: a) general view of the characteristic section of the structure; b) basic reflexes with microdiffraction of the structure (see Fig. 3, a): b (1) - phase α -Fe, b (2) - phase Fe_5Si_3 , b (3) - phase $\text{Fe}_{2.5}\text{Cr}_{2.5}$

ВЛИЯНИЕ КРЕМНИЯ НА УПРОЧНЕНИЕ И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ БЕЗКОБАЛЬТОВОЙ МАРТЕНСИТНОСТАРЕЮЩЕЙ СТАЛИ НА НИКЕЛЬХРОМОВОЙ ОСНОВЕ

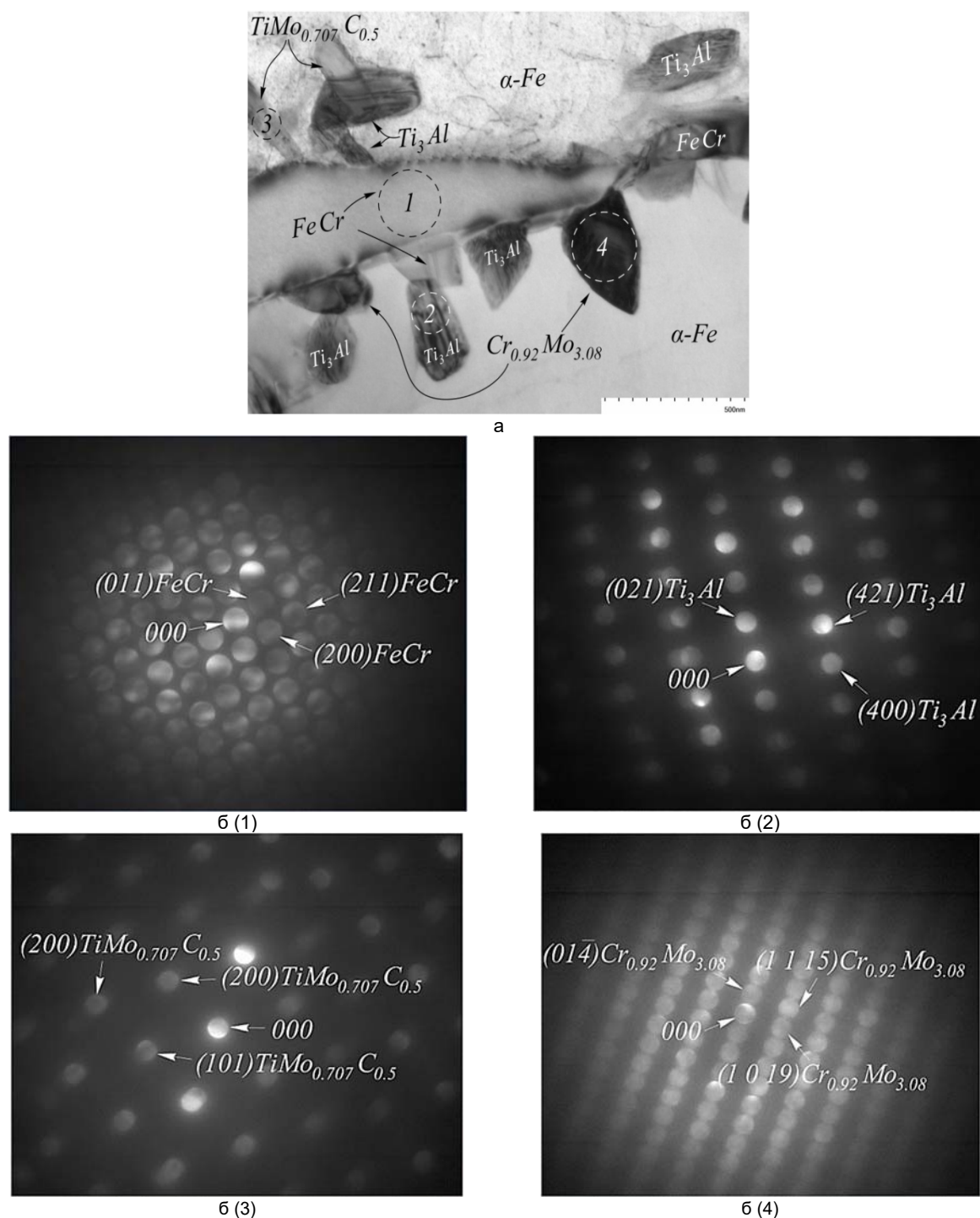


Рисунок 2 – Тонкая структура второго участка: а) общий вид характерного участка структуры; б) основные рефлексы с микродифракции структуры (рис. 4, а): б (1) – фаза FeCr, б (2) – фаза Ti_3Al ; б (3) – фаза $TiMo_{0.707}C_{0.5}$, б (4) – фаза $Cr_{0.92}Mo_{3.08}$

Figure 2 – The thin structure of the second section: a) general view of the characteristic section of the structure;

b) basic reflexes with microdiffraction of the structure (see Fig. 4, a): b (1) - phase FeCr,

b (2) - phase Ti_3Al ; b (3) - phase $TiMo_{0.707}C_{0.5}$, b (4) - phase $Cr_{0.92}Mo_{3.08}$

Анализ результатов, представленный в таблице 3, показывает, что исследуемый металл имеет достаточно высокую износостойкость и по сравнению со сталью без кремния выше в 1,8 раза, и даже несколько превышает износостойкость ряда инструмен-

тальных сталей, например, таких как 50XHM и 30X2B8Ф.

На этапе приработки средний массовый износ металла составляет $0,02 \times 10^{-3}$ г. За испытание средние значения относительного массового износа составили $0,34 \times 10^{-3}$ г/м, а линейного износа – $0,77 \times 10^{-3}$ мм/м.

За весь цикл испытания массовый износ составил $2,83 \times 10^{-3}$ г, при этом износ по длине достиг $6,21 \times 10^{-3}$ мм.

В тоже время износостойкость стали определяется составом образующихся фаз, строением выделившихся частиц, характером их распределения в матрице [7, 13, 15]. В связи с этим были проведены исследования микротвердости структурных составляющих и тонкой структуры исследуемого металла.

Установлено, что микротвердость матрицы такого металла находится в пределах 729–776 HV, упрочняющих фаз в пределах 903–947 HV, в то время как для металла, не легированного кремнием, она составляет 584–608 HV и 716–789 HV соответственно.

Электронно-микроскопическими исследованиями установлено, что основой структуры исследуемого металла после старения является мартенсит. В структуре отмечены 6 видов соединений фазовых составляющих, в основном топологически плотноупакованных.

Обнаружено два характерных микроучастка тонкой структуры металла, полученных просвечивающей электронной микроскопией. Общий вид тонкой структуры первого участка размером 80×100 мкм с расположением областей сканирования приведен на рисунке 1.

Анализ тонкой структуры и микродифракций с её областей показывают, что основу матрицы составляет реечный мартенсит. В структуре наблюдается большая доля глобулярной составляющей (высокотемпературная мартенситная фаза нереечного строения). По границам с α -Fe наблюдаются обширные выделения пластинчатых прямоугольных соединений η -фазы Fe_5Si_3 размером 1000×1500 нм, обладающих высокой твердостью и σ -фазы на основе высокопрочного интерметаллида $\text{Fe}_{2,5}\text{Cr}_{2,5}$ в виде длинных иголок, размер которых превышает 2000 нм.

Общий вид тонкой структуры второго участка размером 80×100 мкм с расположением областей сканирования приведен на рисунке 2.

На этом участке в мартенситной матрице обнаружены соединения σ -фазы FeCr , стержневой формы протяженностью свыше 2000 нм, окруженных со всех сторон большим количеством мелких частиц, размером 75×150 нм интерметаллидов алюминидов титана α_2 -фазы Ti_3Al высокой твердости. Кроме того наблюдаются более крупные частицы размером до 150×300 нм интерметаллида $\text{Cr}_{0,92}\text{Mo}_{3,08}$ и частицы размером до 50×150 нм сложного карбида $\text{TiMo}_{0,707}\text{C}_{0,5}$.

Полученные результаты показывают, что особенностью упрочнения стали, полученной наплавкой порошковой проволокой H7X6M2C2TЮ в результате старения, является выделение в мартенситной матрице большого количества интерметаллических соединений называемых, топологически плотноупакованными фазами [16]. Преобладающими соединениями являются крупные частицы η -фазы силицида железа и σ -фазы системы Fe-Cr. По-видимому, в большей степени именно они и усиливают эффект дисперсионного твердения мартенситностареющей стали. Кроме того, вследствие снижения растворимости элементов в α -Fe в стали, содержащей кремний [9], выделяется большое количество частиц других соединений, таких как интерметаллиды с участием Ti, Al, Cr, Mo и сложного карбида с участием Mo и Ti. Известно, что такие соединения в комплексе значительно усиливают эффект вторичного твердения стали и её износостойкость [7, 9, 13, 15, 17]. Это объясняется тем, что в условиях пластического деформирования поверхности, выявленные интерметаллидные соединения, являются препятствием для скольжения дислокаций [18, 19].

Таким образом, упрочнение мартенситностареющей стали полученной наплавкой порошковой проволокой H7X6M2C2TЮ определяется доминирующими крупными частицами высокой твердости соединений систем Fe-Si и Fe-Cr в комплексе с частицами меньших размеров соединений систем Ti-Al, Cr-Mo, Ti-Mo-C.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Твердость состаренной мартенситностареющей стали, полученной наплавкой порошковой проволокой H7X6M2TЮ легированной кремнием, достигает 53 HRC при степени упрочнения в 43 %.

2. Повышение износостойкости такой стали в результате старения обусловлена образованием мартенситной матрицы с микротвердостью до 776 HV, упрочненной комплексом интерметаллидных топологически плотноупакованных соединений, в большей степени железа, кремния и хрома и в меньшей степени титана, алюминия и молибдена с микротвердостью, достигающей 947 HV.

3. Порошковая проволока H7X6M2C2TЮ может быть использована для нанесения износостойких покрытий на детали, работающие при трении металла о металл.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рябцев И.А. Наплавка деталей машин и механизмов : книга. Киев : Екотехнологія, 2004. 159 с.
2. Юзвенко Ю.А., Кирилук Г.А. Наплавка порошковой проволокой : науч.-техн. о-во машиностроит. пром-сти. ун-т техн. прогресса в машиностроении : заоч. курсы повышения квалификации ИТР по технологии и оборудованию сварочного производства. М. : Машиностроение, 1973. 45 с.
3. Соколов Г.Н., Лысак В.И. Наплавка износостойких сплавов на прессовые штампы и инструмент для горячего деформирования сталей : монография. Волгоград : ВолГТУ, 2005. 283 с.
4. Кальянов В.Н., Багров В.А. Мартенситностареющие стали для наплавки штампов // Сварочное производство. 2003. № 2. С. 35–37.
5. Кондратьев И.А., Рябцев И.А., Черняк Я.П. Порошковая проволока для наплавки слоя мартенситностареющей стали // Автоматическая сварка. 2006. № 4. С. 50–53.
6. Рябцев И.А., Кусков Ю.М., Рябцев И.И. Наплавочный сплав с повышенным эффектом вторичного твердения // Материаловедение. 2006. № 12. С. 37–41.
7. Sha W., Guo Z. Maraging Steels: Modeling of Microstructure, Properties and Applications. Cambridge : Woodhead Publishing, 2009. 216 p.
8. Бодяко М.Н., Астанчик С.А., Ярошевич Г.Б. Мартенситностареющие стали. Минск : Наука и техника, 1976. 246 с.
9. Перкас М.Д., Кардонский В.М. Высокопрочные мартенситностареющие стали : книга. М. : Металлургия, 1970. 224 с.
10. Бирман С.Р. Экономнолегированные мартенситностареющие стали : книга. М. : Металлургия, 1974. 208 с.
11. Малинов Л.С., Малинов В.Л. Экономнолегированные сплавы с мартенситными превращениями и упрочняющие технологии : книга. Харьков : ННЦ ХФТИ, 2007. 346 с.
12. Кардонский В.М. Кремний в мартенситностареющей стали // Металловедение и термическая обработка металлов. 1970. № 7. С. 2.
13. The effect of microstructure on abrasive wear of hard facing alloys / Buchely M.F. [et al.] // Wear. 2005. 259. pp. 52–61. DOI: 10.1016/j.wear.2005.03.002.

ВЛИЯНИЕ КРЕМНИЯ НА УПРОЧНЕНИЕ И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ БЕЗКОБАЛЬТОВОЙ МАРТЕНСИТНОСТАРЕЮЩЕЙ СТАЛИ НА НИКЕЛЬХРОМОВОЙ ОСНОВЕ

14. Carson C. Heat Treating of Maraging Steels // Heat Treating of Irons and Steels. 2014. Volume 4D, pp. 468–480. DOI: 10.31399/asm.hb.v04d.a0005948.

15. Llorca J., Gonzalez C. Microstructural factors controlling the strength and ductility of particle-reinforced metal-matrix composites // J. mech. phys. solids. 1998. 46. Pp. 1–28. DOI: 10.1016/S0022-5096(97)00038-0.

16. Гольдштейн М.И., Грачев С.В., Векслер Ю.Г. Специальные стали : учебник для вузов. М. : Металлургия, 1985. 408 с.

17. Effect of hard second phase on cavitation erosion of Fe-Cr-Ni-C alloys / Di M.G. [et al.] // Wear. 2005. V. 258. pp. 596–603. DOI: 10.1016/j.wear.2004.09.019.

18. Korshunov L.G., Makarov A.V., Chernenko N.L. Ultrafine structures formed upon friction and their effect on the tribological properties of steels // Phys. Met. And Metallography. 2000. V. 90. Suppl. 1. pp. 548–558.

19. Hirth I.P., Rigney D.A. The application of dislocation concepts in friction and wear // Dislocations in Solids. Edited by F.R.N. Nsbarro. 1983. V. 6. Chapter 25. pp. 3–54.

Информация об авторах

Е. Н. Еремин – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Оборудование и технологии машиностроительных производств» Омского государственного технического университета.

Н. Кузьмин – ассистент кафедры «Оборудование и технологии машиностроительных производств» Омского государственного технического университета.

А. С. Лосев – старший преподаватель кафедры «Оборудование и технологии машиностроительных производств» Омского государственного технического университета.

С. А. Бородин – кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и технологии машиностроительных производств» Омского государственного технического университета.

И. А. Пономарёв – старший преподаватель кафедры «Оборудование и технологии машиностроительных производств» Омского государственного технического университета.

REFERENCES

1. Riabtsev, I.A. (2004). Surfacing of machine parts and mechanisms. Kiev : Ekotekhnologiya. 159. (In Russ.).

2. IUzvenko, Iu.A., Kiriliuk, G.A. (1973). Surfacing with powder wire : scientific and technical about mechanical engineering. prom-sti. un-t tech. progress in mechanical engineering. part-time. advanced training courses for IT specialists in welding technology and equipment. M. : Mashinostroenie. 45. (In Russ.).

3. Sokolov, G.N., Lysak, V.I. (2005). Surfacing of wear-resistant alloys on press dies and tools for hot deformation of steels : monograph. Volgograd : VSTU. 283. (In Russ.).

4. Kalianov, V.N., Bagrov, V.A. (2003). Martensitic aging steels for surfacing stamps. *Welding International*. 2. 35-37. (In Russ.).

5. Kondratev, I.A., Riabtsev, I.A. Cherniak, Ia.P. (2006). Powder wire for surfacing a layer of martensitic aging steel. *The Paton Welding Journal*. 4. 50-53. (In Russ.).

6. Riabtsev, I.A., Kuskov, Iu.M., Riabtsev, I.I. (2006). Surfacing alloy with increased secondary hardening effect. *Materials science*. 12. 37-41.

7. Sha, W., Guo, Z. Maraging Steels: Modeling of Microstructure, Properties and Applications. Cambridge : Woodhead Publishing, 2009. 216 p.

8. Bodyako, M.N., Astanchik, S.A., Yaroshevich, G.B. (1976). Martensitic aging steels. Minsk : Nauka i tekhnika. 246. (In Russ.).

9. Perkass, M.D., Kardonskij, V.M. (1970). High-strength martensitic aging steels. M. : Metallurgiya. 224. (In Russ.).

10. Birman, S.R. (1974). Economically alloyed martensitic aging steels. M. : Metallurgiya. 208. (In Russ.).

11. Malinov, L.S., Malinov, V.L. (2007). Economically alloyed alloys with martensitic transformations and hardening technologies. Harkov : NNC HFTI. 346. (In Russ.).

12. Kardonskij, V.M. (1970). Silicon in martensitic aging steel. *Metal Science and Heat Treatment*. 7. 2-6. (In Russ.).

13. Buchely, M.F. [et al.]. (2005). The effect of microstructure on abrasive wear of hard facing alloys. *Wear*. 259. 52-61. DOI: 10.1016/j.wear.2005.03.002.

14. Carson, C. (2014). Heat Treating of Maraging Steels. *Heat Treating of Irons and Steels*. Volume 4D. 468-480. DOI: 10.31399/asm.hb.v04d.a0005948.

15. Llorca, J., Gonzalez, C. (1998). Microstructural factors controlling the strength and ductility of particle-reinforced metal-matrix composites. *J. mech. phys. solids*. 46. 1-28. DOI: 10.1016/S0022-5096(97)00038-0.

16. Goldshtein, M.I., Grachev, S.V., Veksler, Iu.G. (1985). Special steels : textbook for universities. M. : Metallurgiya. 408. (In Russ.).

17. Di, M.G. [et al.]. (2005). Effect of hard second phase on cavitation erosion of Fe-Cr-Ni-C alloys. *Wear*. 258. 596-603. DOI: 10.1016/j.wear.2004.09.019.

18. Korshunov, L.G., Makarov, A.V., Chernenko, N.L. (2000). Ultrafine structures formed upon friction and their effect on the tribological properties of steels. *Phys. Met. And Metallography*. 90. 1. 548-558.

19. Hirth, I.P., Rigney, D.A. (1983). The application of dislocation concepts in friction and wear. *Dislocations in Solids*. Edited by F.R.N. Nsbarro. 6. Chapter 25. 3-54.

Information about the authors

E.N. Eremin - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department Equipment and Technologies of Machine-building Industries of Omsk State Technical University.

N. Kuzmin - Assistant of the Department Equipment and Technologies of machine-building industries of Omsk State Technical University.

A.S. Losev - Senior lecturer at the Department of Equipment and Technologies of machine-building industries of Omsk State Technical University.

S.A. Borodikhin - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department Equipment and Technologies of Machine-building industries of Omsk State Technical University.

I.A. Ponomarev - Senior lecturer at the Department of Equipment and Technologies of machine-building industries of Omsk State Technical University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 19 ноября 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 19 Nov 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.



Научная статья
2.6.17 – Материаловедение (технические науки)
УДК 620.22

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.039



МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ФОТОПОЛИМЕРНОЙ ПОДЛОЖКИ ДЛЯ ХИМИЧЕСКОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ ГИБКОГО НЕИНВАЗИВНОГО ЭЛЕКТРОДА

Иван Акрадьевич Осипов ¹, Алексей Гранитович Никифоров ²

^{1, 2} Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул, Россия

¹ io8951508@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-3725-6708>

² alexnik0113@mail.ru

Аннотация. Нейроинтерфейсы с каждым годом получают все большее развитие и применение в различных областях: от общеобразовательных структур до обучения пилотированием БПЛА. Однако применяемые устройства несовершенны и не позволяют в полной степени реализовать весь свой потенциал. Часть проблем напрямую связана с конструктивными особенностями электродов. В работе представлена конструкция звездчатого гибкого электрода, лишённого недостатков обозреваемых аналогов. Технологический процесс изготовления электрода делится на такие этапы, как создание полимерного гибкого корпуса и металлизацию рабочей поверхности. Возможно получить монолитное изделие, сочетающее упругие и механические свойства полимера с электропроводящими характеристиками металла. Предложенное решение позволит устранить такие проблемы существующих конструкций электродов, как невозможность надёжного крепления без причинения дискомфорта пользователю, искажения сигнала из-за движения электрода во время ношения, недостаточность контактной площади, быстрый выход электрода из строя во время повседневной эксплуатации. Разработана оптимизированная под фотополимер RESIONE F80 Flex методика модификации, позволяющая получать каталитически активную поверхность, способную при контакте со специальным раствором запускать процесс химической металлизации. Методом оптической микроскопии изучены структурные изменения поверхности исследуемого фотополимера на всех этапах модификации: от механической подготовки поверхности, до химических способов воздействия. Проведён анализ обрабатываемой поверхности в начале металлизации, рассмотрена зависимость качества получаемого металлического слоя от вносимых в процесс модификации изменений.

Ключевые слова: нейрогабарит, электрод, фотополимер, модификация поверхности, сенсibilизация, активация, акселерация, химическая металлизация.

Для цитирования: Осипов И. А., Никифоров А. Г. Модификация поверхности фотополимерной подложки для химической металлизации гибкого неинвазивного электрода // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 224–228. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.039. EDN: <https://elibrary.ru/ODLDAY>.

Original article

MODIFICATION OF SURFACE OF A PHOTOPOLYMER SUBSTRATE FOR CHEMICAL METALLIZATION OF A FLEXIBLE NONINVASIVE ELECTRODE

Ivan A. Osipov ¹, Alexey G. Nikiforov ²

^{1, 2} Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

¹ io8951508@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-3725-6708>

² alexnik0113@mail.ru

Abstract. Neurointerfaces are increasingly being developed and applied in various fields every year: from educational institutions to UAV piloting training. However, the devices used are imperfect and do not allow them to fully realize their full potential. Some of the problems are directly related to the design features of the electrodes. The paper presents the design of a star-shaped flexible electrode, devoid of the disadvantages of the surveyed analogues. The manufacturing process of the electrode is divided into such stages as the creation of a polymer flexible housing and the metallization of the working surface. It is possible to obtain a monolithic product combining the elastic and mechanical properties of the polymer with the electrically conductive characteristics of the metal. The proposed solution will eliminate such problems of existing electrode designs as the inability to securely attach without causing discomfort to the user, signal distortion due to electrode movement during wearing, insufficient contact area, and rapid electrode failure during daily operation. A modification technique optimized for the RESIONE F80 Flex photopolymer has been developed, which makes it possible to obtain a catalytically active surface capable of starting the chemical metallization process upon contact with a special solution. The structural changes of the surface of the studied photopolymer at all stages of modifica-

© Осипов И. А., Никифоров А. Г., 2025

МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ФОТОПОЛИМЕРНОЙ ПОДЛОЖКИ ДЛЯ ХИМИЧЕСКОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ ГИБКОГО НЕИНВАЗИВНОГО ЭЛЕКТРОДА

tion have been studied by optical microscopy: from mechanical surface preparation to chemical methods of exposure. The analysis of the treated surface at the beginning of metallization is carried out, the dependence of the quality of the resulting metal layer on the changes introduced into the modification process is considered.

Keywords: neurogarnitura, electrode, photopolymer, surface modification, sensitization, activation, acceleration, chemical metallization.

For citation: Osipov, I.A. & Nikiforov, A.G. (2025). Modification of the surface of a photopolymer substrate for chemical metallization of a flexible noninvasive electrode. Polzunovskiy vestnik, (3), 224-228. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.039. EDN: <https://elibrary.ru/ODLDAY>.

ВВЕДЕНИЕ

Нейрогарнитура – портативное устройство повседневного ношения, позволяющее регистрировать состояние человека, основываясь на данных встроенного электроэнцефалографа.

В настоящее время подобные устройства получили широкое распространение в области, где необходимо фиксировать такие факторы, как концентрацию, утомляемость, подверженность стрессу. Одной из задач является перспективное применение нейроинтерфейсов в обучении пилотированию БПЛА.

В процессе повседневного ношения такого устройства выявлен ряд проблем. Решение требует исследований не только в областях нейробиологии и схемотехники, но и материаловедения [1].

Проблемы, требующие решения, связаны с возникновением шумов и искажением получаемых данных электроэнцефалографии, вызванные несовершенством типовой конструкции электродов, повсеместно применяемых практически во всех существующих на рынке моделях.

Наиболее распространенным типом электрода считается комплект подпружиненных контактов типа rogorip (рис. 1) в сборном корпусе. Подобная конструкция становится причиной искажения считываемого сигнала, связанного с движением контактной поверхности по коже головы из-за невозможности осуществить надёжное крепление устройства. Данный тип конструкции не позволяет сочетать комфортное ношение и надёжную фиксацию на голове. Существует проблема надёжности применяемой конструкции при продолжительном использовании: из-за неравномерного распределения и приложения к электродам нагрузки, крайние контакты отламываются.



Рисунок 1 – Изображение примера электрода с контактами rogorip

Figure 1 – Example image of an electrode with pogo pin contacts

Таблица 1 – Компонентный состав раствора обезжиривания

Table 1 – Component composition of the degreasing solution

Компоненты	Содержание
Тринатрийфосфат $\text{Na}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	10–30
Сода кальцированная Na_2CO_3	10–30
Поверхностно-активное вещество	5–15
Рабочая температура, °C	70–80
Продолжительность, мин	5–20

Одним из возможных решений может являться применение звездчатого электрода [2], корпус которого изготовлен из гибкой диэлектрической полимерной подложки, на рабочей (контактной) поверхности которой синтезирован электропроводящий металлический слой. При креплении нейрогарнитуры происходит прижатие электрода к голове, в результате которого элементы, отмеченные на рисунке 2 раскрываются, повторяя контур головы в точках прилегания.

Изготовление такого электрода сводится к формированию полимерной основы, выступающей каркасом, и металлизации рабочей поверхности.



Рисунок 2 – Изображение формы звездчатого электрода

Figure 2 – Image of the shape of the stellate electrode

МАТЕРИАЛЫ, МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ

При синтезе металлического электропроводящего слоя (далее – контактный слой) необходима подготовка поверхности диэлектрической фотополимерной подложки RESIONE F80 Flex (далее – подложка), синтез медного подслоя, осаждение серебряного электропроводящего слоя.

Предварительная механическая обработка поверхности подложки (рисунок 3, а) проводилась шлифовальными дисками Р600, Р800 для создания шероховатости (рисунок 3, б, в), способствующих закреплению восстанавливаемых частиц олова.

Первым этапом является обезжиривание. Согласно описанным методикам [3, 4, 5], для выбранного типа гибкого полимера обезжиривание проходит в доведённом до 80 °C щелочном растворе в течение 15 минут.

Следующий этап – кондиционирование (предтравление), позволяющее достичь частичного размягчения и лёгкого набухания труднотравимого полимера с целью облегчить последующее травление. В качестве растворителя использовался изопропиловый спирт.

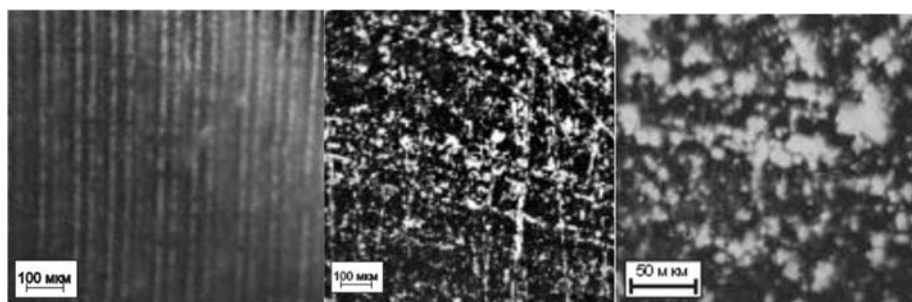


Рисунок 3 – Поверхность подложки: а) без обработки x100; б) после механической обработки x100; в) после механической обработки x500

Figure 3 – Substrate surface: a) without x100 treatment, b) after x100 treatment, c) after x500 treatment

Таблица 2 – Компонентный состав раствора травления

Table 2 – Component composition of the etching solution

Компоненты	Содержание г/л
Ангидрид хромовый CrO_3	~90
Кислота серная H_2SO_4	1300–1900
Вода	До 1 литра раствора
Температура рабочая, °C	80–85
Продолжительность, мин	10–20

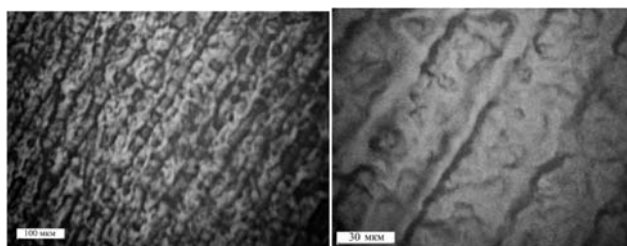


Рисунок 4 – Поверхность подложки после травления: а) ×100; б) ×500

Figure 4 – Substrate surface after etching: a) ×100, b) ×500

Подложка травится в доведённом до 85 °C растворе серной кислоты и оксида хрома. Целью травления является активирование поверхности подложки, создание рельефа поверхности, позволяющего при дальнейшей модификации и реализации механизмов металлизации. Достигается это возможностью селективно воздействовать на фазовые составляющие диэлектрика. Результатом такого воздействия происходит удаление продуктов травления.

Эффективность травления оценивалась по микрошероховатости, с помощью оптического микроскопа (рисунок 4), физико-химические свойства – по смачиваемости поверхности.

В процессе химической металлизации важным фактором является возможность травящего агента диффундировать в глубь полимера. Необходимо, чтобы скорость диффузии была значительно ниже скорости травления, чтобы реакция проходила во внешней диффузионно-кинетической области, то есть затрагивала только поверхностные слои полимера.

Травление является основным этапом, обеспечивающим адгезионную прочность в системе полимер–металл. Наиболее распространённой теорией, объясняющей адгезию между двумя твёрдыми веществами, является теория механического зацепления Хеймана [4].

Основные механизмы адгезионной прочности сводятся к тому, что в результате травления образуются многочисленные микроуглубления, в которые попадает химически осаждённый металл, образуя механические замки. Прочность сцепления определяется разрушающей силой, зависящей только от содержащейся в полимере фазы, удаляемой при травлении и прочностных характеристик полимера.

$$F_T = \sqrt[4]{\frac{E \cdot h_{\text{cp}} \cdot h^3 \cdot b^4 \cdot K_L}{4 \cdot d^6}},$$

где F_T – адгезия при отслаивании под углом 90 °, кН/м; E – модуль упругости покрытия, МПа; h_{cp} – средний размер выступа металлического покрытия, погруженного в пластмассу, см; h – толщина покрытия, см; b – ширина отслаиваемой полоски; K_L – усилие, необходимое для извлечения одного выступа из пластмассы, Н; d – расстояние между выступами.

Теория Хеймана объясняет зависимость отслаивания от толщины осаждаемого слоя, устанавливает связь между микрошероховатостью в ходе травления и прочностью сцепления механического покрытия.

Химическую составляющую адгезии, как явления, в данной системе объясняет теория Собестра, описывающая ослабление химических связей, изменение структуры и количества полярных групп на поверхностных слоях пластмасс, подводящая к пропорциональной зависимости характеристик от толщины поверхностного слоя [4].

$$F_T = 38 \cdot \sigma_p \sqrt[4]{\left(\frac{E}{E_{\text{п}}}\right) \cdot h^3 \cdot h_{\text{п}}},$$

где σ_p – разрушающее напряжение при разрыве ослабленного поверхностного слоя, МПа; $E_{\text{п}}$ и $h_{\text{п}}$ – модуль упругости (МПа) и толщина поверхностного слоя.

После травления необходимо провести обезвреживание, направленное на удаление оставшихся на поверхности частиц хрома. Важность данного этапа обусловлена необходимостью удалить остатки

МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ФОТОПОЛИМЕРНОЙ ПОДЛОЖКИ ДЛЯ ХИМИЧЕСКОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ ГИБКОГО НЕИНВАЗИВНОГО ЭЛЕКТРОДА

травителя или продуктов травления, способных повлиять на процесс металлизации, производящийся в чувствительных к посторонним примесям растворах.

Обезвреживание проводилось промыванием в растворе № 1, прополаскиванием в воде, промыванием в растворе № 2 [3].

Согласно экспериментальным данным, полученным в ходе подготовки поверхности образца № 1, температура травления выбранного полимера является слишком высокой, поскольку происходит перетравливание образца, поверхность покрывается глубокими крупными трещинами, начинает отслаиваться; происходит чрезмерное размягчение материала (рис. 5, а).

Уменьшение температуры раствора травления

Таблица 3 – Компонентный состав растворов обезвреживания

Table 3 – Component composition of neutralization solutions

Компоненты	Номер раствора	
	1	2
Натрия пиросульфит $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$, г/л	5–30	–
Кислота соляная HCl , г/л	–	100–600
Рабочая температура, °C	10–30	10–30
Продолжительность, мин	0,1–0,5	0,5–5

Таблица 4 – Основные проблемы при травлении в хромовокислом растворе

Table 4 – Main problems with etching in chromium acid solution

Проблема	Причина	Способ устранения
После травления поверхность пластика блестящая и не смачивается	Недостаточная продолжительность травления	Увеличить продолжительность травления
	Низкая температура раствора	Увеличить температуру раствора
	Заниженное содержание компонентов	Откорректировать состав раствора
	Накопление в растворе тяжёлых металлов и Cr^{3+}	Заменить раствор
Повышенная формуемость изделия	Завышенная температура раствора	Проверить температуру и охладить раствор



Рисунок 5 – Образцы после травления: а) полученный по методике [3]; б) при температуре 65 °C, время 15 минут; в) по оптимизированной методике

Figure 5 – Samples after etching: a) obtained by the method [3], b) at a temperature of 65 °C, time 15 minutes, c) by an optimized method

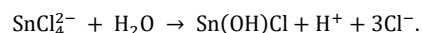
После создания необходимой степени шероховатости поверхности дальнейшие этапы подготовки сводятся к активации. Необходимо придать подложке каталитические свойства, обеспечивающие иницирование реакции восстановления металла из раствора.

Осаждение медного подслоя из раствора происходит на кристаллах олова, синтез которых на поверхности подложки является заключительным этапом подготовки поверхности к химической металлизации. Далее производится сенсibilизация – обработка поверхности диэлектрика раствором восстановителя.

Согласно теории Маккиа, количество восстановленного олова не зависит от времени погружения в раствор и определяется исключительно режимом промывания, а также жидкостью, которой оно осуществляется [4]. Это связано с тем, что при контакте с промывающей жидкостью раствор хлорида олова запускает гидролиз, в ходе которого образуются как сложные полимерные соединения олова, так и малорастворимые продукты.

приводит к образованию налёта на поверхности образца после обезжиривания в щелочи, который удаляется только при высокотемпературном травлении.

На основании полученных данных в методику были внесены изменения, направленные на оптимально эффективную модификацию поверхности подложки. Основным изменением является замена обезжиривания щёлочью менее агрессивными способами обработки. Это позволило получить поверхность, лишённую сильных перепадов высоты в плоскости, обрабатываемая поверхность получилась относительно ровной, без трещин и крупных впадин. Одновременно с этим достигнута необходимая степень микрошероховатости, позволяющая начать реализацию следующих этапов подготовки к металлизации.



Таким образом, помимо правильно подобранного соотношения компонентов в растворе немаловажен такой аспект, как гидродинамические свойства промывающей струи. Здесь же стоит отметить, что повышение температуры промывающего вещества или его замена на раствор соды или аммиак ускоряют процесс гидролиза, что положительно сказывается на количестве остающихся на поверхности продуктов. Для трудноактивируемых полимеров рекомендуется вводить в состав раствора ионы $\text{Sn}(\text{IV})$ и 1–3 моль хлорида натрия.

Процесс сенсibilизации производится погружением образца в раствор двуххлористого олова на 15 минут, после чего поверхность промывается аммиаком.

Каталитическая активация олова проводится погружением в раствор азотнокислого серебра.

Завершающим этапом, необходимым только для сложных в подготовке к металлизации полимерам, явля-

ется акселерация, направленная на повышение каталитической активности осаждённых кристаллов. Реализуется в два этапа: погружением в раствор гидроокиси натрия при комнатной температуре в течение 2–5 минут.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В качестве проверки работоспособности подготовленной поверхности был реализован процесс химического меднения в металлизующем растворе, для того чтобы в ходе микроскопии было видно и полученную поверхность, и синтезированные частицы меди. Данные микроскопии позволили получить структуру поверхности, включающую синтезированные частицы меди.

Образец № 1 (рисунок 6, а): на поверхности наблюдаются крупные, глубокие трещины. Олово после сенсibilизации в большей степени закрепилось в

дефектных углублениях. Это обуславливает характер роста участков меди от трещин в глубь образуемых между ними плоскостей.

Образец № 2 (рисунок 6, б): 1 – олово, 2 – окислы меди или продукты химического взаимодействия щелочного налёта с восстанавливаемой из раствора медью, 3 – медь. Полученные участки металла прерывистые, сильно различающиеся по качеству и высоте, относительно плоскости поверхности: неоднородные.

Образец № 3 (рисунок 6, в): не наблюдается резких перепадов по высоте относительно плоскости, распределение частиц олова равномерное, непрерывное. Слишком крупные агломераты отсутствуют. Медь восстанавливается равномерно на всей поверхности подложки, нужной валентности.

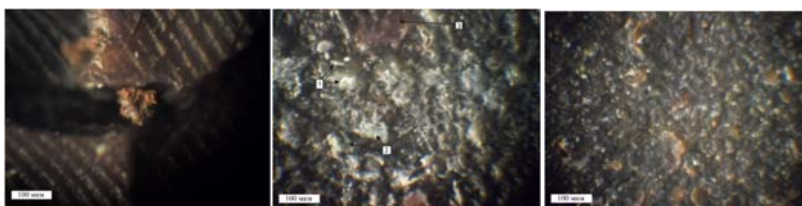


Рисунок 6 – Микроструктура образцов: а) образец № 1; б) образец № 2; в) образец № 3

Figure 6 – Microstructure of the samples: a) sample No. 1; b) sample No. 2; c) sample No. 3

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в ходе работы была произведена подготовка (модификация) поверхности диэлектрика, позволяющая в дальнейшем реализовать химическое меднение восстановлением металла из раствора. Были решены следующие задачи:

- с помощью механической обработки, травления и сопутствующих ему операций была обеспечена необходимая степень микрошероховатости, предопределяющая адгезионную прочность синтезируемого металлического покрытия в системе полимер–металл;
- произведена очистка поверхности от остаточных продуктов травления и травителя;
- произведена активация поверхности;
- сенсibilизированы активные центры из кристаллов олова, служащие точками роста медного покрытия;
- произведено активирование и акселерация восстановления с целью придания ему каталитических свойств;
- изучен процесс начала роста кристаллов меди и влияние на это ряда факторов модификации поверхности;
- по полученным данным проведена адаптация имеющейся методики под её реализацию для применяемого полимера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осипов И.А., Косихин Д.Е. Анализ и разработка электрода для портативной нейрорегистратуры. Флагман науки : научный журнал. Декабрь 2023. СПб. : Изд-во ГНИИ "Нацразвитие". 2023. № 11(11).
2. Патент № 2829784, Россия, Портативная нейрорегистратура с гибкими электродами и датчиком пульсоксиметрии, RU2829784C1, Данил Евгеньевич Косихин, Иван Аркадьевич

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 19 ноября 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 19 Nov 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.

Осипов, дата заявки 06.10.2023, дата публикации 5.11.2024.

3. Мелашенко Н.Ф. Гальванические покрытия диэлектриков : Справочник. Минск : Беларусь, 1987. 176 с.

4. Шаклаускас М., Вашкялис А. Химическая металлизация пластмасс ; 3-е изд., перераб. Л. : Химия, 1985. 144 с., ил.

5. Ильин В.А. Металлизация диэлектриков. Л., Машиностроение, 1977. 80 с.

6. Никандорова Л.И. Химические способы получения медных покрытий. Машиностроение, 1971. 104 с. Табл. 17. Илл. 10. Библ. 64 назв.

7. Буркат Г.К. Серебрение, золочение, палладирование и родирование. Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984. 86 с.

8. Гамбург Ю.Д. Гальванические покрытия. Справочник для применения. Москва : Техносфера, 2006. 216 с.

9. Шалкаускас М.И., Жебраускас А.И., Баранускас М.А. Улучшение травимости пластмасс перед металлизацией // Тр. Ан. Лпт. ССР, сер. Б. 1976. № 3 (94). С. 65–69.

10. Химико-гальваническая металлизация АБС пластиков: Сб. Науч. Тр. Л., 1979. 62 с.

Информация об авторах

А. Г. Никифоров – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры Современные специальные материалы АлтГТУ.

И. А. Осипов – студент бакалавриата кафедры Современные специальные материалы, сотрудник лаборатории прототипирования инженерингового центра ХимБиоМаш АлтГТУ.

Information about the authors

A.G. Nikiforov - Candidate of Physico-Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Modern Special Materials ASTU.

I.A. Osipov - student at the Department of Modern Special Materials, an employee of the prototyping laboratory of the Khimbiomash Engineering Center of the ASTU.



Научная статья

2.6.17 – Материаловедение (технические науки)

УДК 620.22-419.8:678.686-047.40

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.040



ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ БЕТОНОВ, АРМИРОВАННЫХ ЧАСТИЦАМИ ВТОРИЧНО ПЕРЕРАБОТАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Сергей Валерьевич Морозов ¹, Яна Михайловна Жумаканова ²

^{1, 2} Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

¹ sergcska@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3850-3984>

² yana_tsyam@mail.ru

Аннотация. В современном мире использование полимеров, включая композиционные материалы, стало неотъемлемой частью многих отраслей промышленности. Однако с ростом потребления полимеров возникают серьезные экологические проблемы, связанные с их переработкой и утилизацией. При переработке композиционных материалов перспективным является вторичное использование данных материалов и их применение в различных отраслях промышленности, например в строительстве. В данной работе проведены исследования влияния в качестве наполнителя измельченных композиционных материалов и их составляющих на физико-механические свойства бетонов. На первом этапе исследования был произведен выбор оптимального размера фракции армирующих частиц для наполнения бетонных образцов. Показано, что наилучшие физико-механические характеристики наблюдались при использовании мелкодисперсных частиц ввиду плохой адгезии крупнодисперсных частиц с цементной матрицей. После определения размера армирующих частиц были изготовлены в соответствии с ГОСТ бетонные образцы кубической формы с размерами 30/30/30 мм с различной степенью наполнения. Далее были проведены испытания армированных и стандартных бетонных образцов на сжатие. В результате испытаний выявлено, что предел прочности на сжатие бетонных образцов, армированных частицами измельченного стеклопластика (1 %) и частицами измельченного связующего ЭД-20 (10 %), увеличился в 2,6 раз, а модуль упругости – в 3–4 раза. На этом основании можно отметить, что использование добавок из измельченных композиционных материалов в качестве наполнителя бетонных композиций является перспективным и позволяет не только вторично перерабатывать данные материалы, но и с помощью их использования улучшать физико-механические свойства бетонов.

Ключевые слова: рециклинг композиционных материалов; физико-механические свойства бетонов; предел прочности на сжатие; модуль упругости; адгезия; композиционный материал; вторичное использование реактопластов.

Для цитирования: Морозов С. В., Жумаканова Я. М. Исследование свойств бетонов, армированных частицами вторичнопереработанных композиционных материалов // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 229–233. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.040. EDN: <https://elibrary.ru/OWRASP>.

Original article

STUDY OF PROPERTIES OF CONCRETE REINFORCED WITH PARTICLES OF RECYCLED COMPOSITE MATERIALS

Sergey V. Morozov ¹, Yana M. Zhumakanova ²

^{1, 2} Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

¹ sergcska@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3850-3984>

² yana_tsyam@mail.ru

Abstract. In the modern world, the use of polymers, including composite materials, has become an integral part of many industries. However, with the growth of polymer consumption, serious environmental problems arise associated with their processing and disposal. When processing composite materials, the secondary use of these materials and their application in various industries, such as construction, is promising. In this paper, studies were conducted on the influence of crushed composite materials and their components as a filler on the physical and mechanical properties of concrete. At the first stage of the study, the optimal size of the fraction of reinforcing particles for filling concrete samples was selected. It was shown that the best physical and mechanical characteristics were observed when using fine particles, due to the poor adhesion of coarse particles with the cement matrix. After determining the size of the reinforcing particles, concrete samples of cubic shape with dimensions of 30/30/30 mm with different degrees of filling were manufactured in accordance with GOST. Then, tests of reinforced and standard concrete samples for compression were carried out. As a result of the tests, it was revealed that the compressive strength of concrete samples reinforced with particles of crushed fiberglass (1 %) and particles of crushed ED-20 binder (10 %) in-

© Морозов С. В., Жумаканова Я. М., 2025

creased by 2,6 times, and the modulus of elasticity by 3-4 times. On this basis, it can be noted that the use of additives from crushed composite materials as a filler for concrete compositions is promising and allows not only to recycle these materials, but also to improve the physical and mechanical properties of concrete with their help.

Keywords: *recycling of composite materials; physical and mechanical properties of concrete; compressive strength; modulus of elasticity; adhesion; composite material; secondary use of thermosets.*

For citation: Morozov, S.V. & Zhumakanova, Y.M. (2025). Study of the properties of concrete reinforced with particles of recycled composite materials. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 229-233. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.040. EDN: <https://elibrary.ru/OWRAPSP>.

ВВЕДЕНИЕ

Полимеры играют важнейшую роль в функционировании углеродного и кислородного циклов. В настоящее время в производство запущено множество синтетических материалов на основе полимеров, без которых уже невозможно представить жизнедеятельность человека [1–2].

Большую часть изделий из композиционных материалов изготавливают из реактопластов, представляющих собой полимерные материалы, которые в процессе производства формируются и затвердевают при помощи химических реакций. Они обладают высокой прочностью и устойчивостью к коррозии, что делает их идеальными для использования в различных отраслях промышленности, таких как авиастроение, автомобилестроение, электроника, строительство и др. [3–4]. Проблемой является то, что при изготовлении изделий из реактопластов образуется значительное количество технологических отходов (до 20 %), при этом высокие физико-механические свойства затрудняют утилизацию как этих отходов, остающихся в процессе производства, так и самих изделий из реактопластов после окончания их жизненного цикла.

В настоящее время рассматривают следующие методы утилизации полимерных композиционных материалов (ПКМ): захоронение на полигонах, физическая, термическая и химическая обработка. При традиционных методах утилизации, таких как захоронение и сжигание в окружающую среду, попадают множество вредных экологически опасных веществ, также они еще являются очень экономически невыгодными, поэтому данные методы не являются приоритетными.

В результате необходимо определиться с выбором оптимального метода утилизации полимерных композиционных материалов, который мы будем использовать в нашем исследовании.

Все методы утилизации полимерных композиционных материалов объединяет необходимость разрушения матрицы (связующего) с целью выделения армирующего наполнителя и получением на выходе различных продуктов переработки. В настоящее время условно рассматривают три метода утилизации: физические, химические и термические.

Основными перспективными физическими методами переработки в настоящее время являются механические и радиационные. К механическому методу относят измельчение, дробление и перетирание, основным продуктом которого является рециклат (продукт утилизации ПКМ) различной степени измельчения. Общий принцип радиационных методов основан на разрушении (деструкции) полимерной матрицы под действием высокоэнергетического излучения.

Главными достоинствами механических методов переработки являются сравнительная простота технологического оформления, универсальность – применим для любых ПКМ и полимеров, одновременная переработка волокон и полимерного связующего, а также отсутствие вредных выбросов и испа-

рений. К недостаткам механического способа следует отнести высокую энергоемкость, сложность регулирования размеров измельченных пластиков, не безвредное полимерное связующее, снижение механических свойств измельченных армированных пластиков, ограниченное вторичное применение переработанных материалов.

Преимуществом радиационного метода является его универсальность – под действием высокоэнергетического излучения разрушаются практически все полимерные связующие, а наполнитель остается неповрежденным (только для углеродных волокон). Недостатками метода являются излишняя радиационная нагрузка на окружающую среду и человека, утилизация преимущественно тонкослойных отходов армированных пластиков (до нескольких миллиметров).

Химические методы утилизации полимерных композиционных материалов основаны на деполимеризации (химическом разрушении) полимерного связующего, продуктом которых на выходе является волокно. В этом направлении основными перспективными методами являются термокатализ, сольволиз и окисление в псевдооживленном слое.

Преимущества данных методов являются: низкое энергопотребление, высокая селективность процесса по полимерным связующим (90–98 %) и сохранение свойств армированного наполнителя.

К основным недостаткам этих методов переработки можно отнести: сложность контроля технологического процесса переработки армированных пластиков с последующей утилизацией вредных реагентов и продуктов распада полимерной матрицы, сложность технологического оборудования из-за необходимости вести процесс при высоких давлениях (до 3,5 МПа, в отдельных случаях – до 29 МПа), а также селективность реагентов для деполимеризации связующего, т.е. для каждого утилизируемого связующего требуется подбирать состав исходных реагентов.

Из термических методов утилизации ПКМ в зависимости от содержания кислорода можно выделить газификацию (при недостатке кислорода) и пиролиз (отсутствие кислорода).

Метод газификации – это процесс разложения ПКМ с получением синтез-газа, который используют для производства тепловой и электрической энергии. Недостатком газификации является уничтожение наиболее ценных составляющих ПКМ и высокая вероятность выброса вредных газов в атмосферу.

В настоящее время самым распространенным термическим методом утилизации армированных пластиков является пиролиз. Пиролиз условно разделяют на низкотемпературный (от 300 до 500 °C), продуктами которого являются волокно, а также масла и твердые вещества – продукты распада полимерного связующего; среднетемпературный (от 500 до 800 °C), продуктами которого являются волокно, масла и газы, в меньшей степени – твердые вещества; высокотемпературный (от 800 до 1500 °C), основные про-

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ БЕТОНОВ, АРМИРОВАННЫХ ЧАСТИЦАМИ ВТОРИЧНО ПЕРЕРАБОТАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

дукты – волокно и пиролизные газы, выход твердых веществ и масел незначителен. Процесс пиролиза проводится при отсутствии кислорода, часто в среде инертного газа – азота.

Преимуществами пиролиза являются высокий выход волокон при оптимизированном процессе, использование теплоты от разложения полимерного связующего, универсальность оборудования, хорошая адгезия эпоксидного связующего к переработанным волокнам армированного пластика и широкие возможности коммерческого применения. К недостаткам процесса следует отнести неравномерность прогрева рабочей зоны реактора и, как следствие, разложение связующего может быть неполным, а также необходимость обезвреживания пиролизных газов, которые содержат соединения опасных веществ [5].

В результате можно сделать вывод, что для максимального сохранения свойств выбранного наполнителя предпочтителен свой метод утилизации. Например, для углепластиков – это пиролиз и сольволиз, для стеклопластиков – это также пиролиз. Особенностью утилизации органопластиков является то, что наполнитель сравнительно близок по химическим и физическим свойствам к полимерной матрице, поэтому органический наполнитель разрушается практически одновременно с полимерной матрицей.

Также необходимо отметить, что в сравнении с добытым волокном из композитов и первичными волокнами существует потеря ими физико-механических характеристик порядка 20–50 %, и на эти процессы переработки затрачивается огромное количество энергии [6–7].

По экономическим и экологическим соображениям наиболее привлекательными являются технологии рециклинга композиционных материалов, обеспечивающие повторное использование компонентов.

В рамках нашего исследования был выбран один из самых простых, эффективных и экономически выгодных физических методов – измельчение.

Решение проблемы утилизации ПКМ – приоритетная материаловедческая задача, поскольку создание и внедрение новых материалов непременно приводит к образованию отходов. С учетом специфических свойств ПКМ, таких как стойкость к внешним воздействиям окружающей среды, проблема их утилизации носит, прежде всего, экологический характер, поэтому актуальность данных исследований не вызывает сомнений.

МАТЕРИАЛЫ, МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объекты исследования в данной работе: в качестве наполнителя для цементной матрицы использовались крупно- и мелкодисперсные частицы на основе измельченных композитов, не отделяя матрицу от наполнителя, и отвержденного связующего.

Измельчение отвержденных композитных материалов проводилось на планетарной мельнице МП-4/1,0 З/Н 1109. В качестве композиционных материалов для получения частиц наполнителя в качестве возможной замены щебня в бетонной композиции были выбраны стеклопластик, углепластик и отвержденное связующее ЭД-20. Далее были изготовлены бетонные образцы кубической формы с размерами 30х30х30 мм следующего состава: эталонные образцы бетона без добавок, образцы с армирующими добавками измельченного связующего ЭД-20 с процентным содержанием 1 %, 5 % и 10 %, образцы с армирующими добавками измельченного стеклопластика на основе ЭД-20 с процентным содержанием 1 %, 5 % и 10 % и образцы с армирующими добавками измельченного углепластика на основе ЭД-20 с процентным содержанием 1 % и 5 %.

После изготовления бетонные образцы отверждались при комнатной температуре в течение 28 суток.

Далее были проведены испытания на сжатие (ГОСТ 10180-2012 [8]) эталонных бетонных образцов без наполнителя и образцов, содержащих различные армирующие наполнители.

Испытания на сжатие проводились на испытательной машине Instron 3369 со следующим режимом нагружения: скорость нагружения составляла 0,5 мм/мин, деформация образцов – 5 % [8].

На первом этапе исследования был определен оптимальный размер фракции наполнителя.

Для этого были проведены испытания на сжатие бетонных образцов с наполнением крупными фракциями измельченной отвержденной смолы ЭД-20 (рис. 1).

В результате проведенных испытаний можно отметить, что график стандартных образцов имеет равномерный характер нагружения в отличие от образцов, содержащих частицы отвержденной смолы ЭД-20, где прослеживаются интервальные скачки. Это можно объяснить тем, что за счёт гладкой поверхности частиц смолы не происходит необходимой адгезии с цементом, что в итоге влияет на процесс разрушения бетонных образцов.

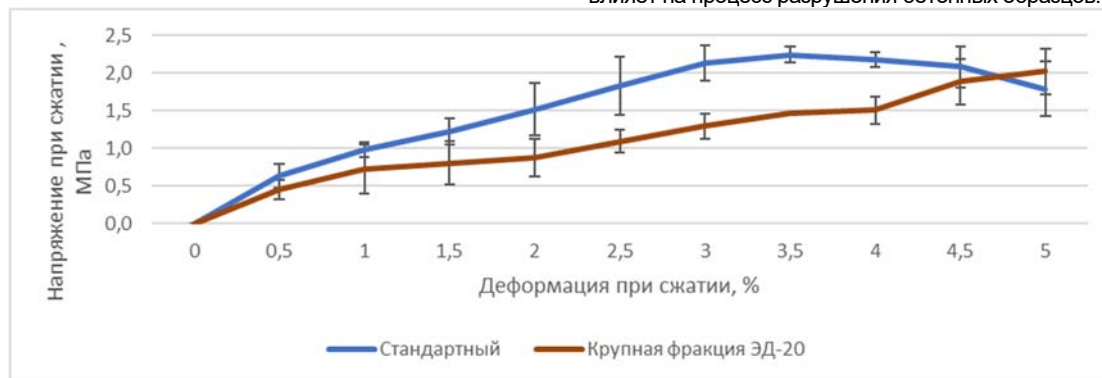


Рисунок 1 – Сравнение стандартных образцов бетона с образцами, наполненными крупными фракциями измельченной отвержденной смолы ЭД-20

Figure 1 – Comparison of standard concrete samples with samples filled with large fractions of crushed cured resin ED-20

Процесс разрушения образцов, наполненных крупными фракциями измельченной отвержденной смолы ЭД-20, происходил с характерным звуком треска отвержденного связующего.

По итогам испытания было принято решение проводить дальнейшие исследования не с крупнодисперсными наполнителями, а с измельченными мелкодисперсными частицами.

Данное решение предполагает в дальнейшем использование измельченных композиционных материалов и их компонентов в качестве добавок бетонов для улучшения их физико-механических свойств.

Для исследования были подготовлены мелкодисперсные порошки отвержденной смолы ЭД-20, а также стеклопластика и углепластика. Частицы добавлялись в цементную матрицу с различной степенью наполнения для определения закономерностей изменения физико-механических свойств композиции. Степень наполнения варьировалась от 0 до 10 %, что

согласуется с оптимальными значениями степени наполнения для композиций, содержащих дисперсный наполнитель.

В результате проведенных испытаний на сжатие были рассчитаны предел прочности на сжатие и модуль упругости. Полученные данные сведены в таблицы 1 и 2.

Из полученных результатов можно отметить, что у образцов, армированных частицами стеклопластика и углепластика, прочность на сжатие увеличивается с уменьшением концентрации, а у образцов, содержащих частицы смолы ЭД-20, наоборот – при увеличении концентрации наполнителя прочность на сжатие также увеличивается. Таким образом, можно сделать вывод, что наилучшими физико-механическими характеристиками обладают образцы с 1 % наполнением бетонных образцов частицами стеклопластика и с 10 % наполнением бетонных образцов частицами отвержденной смолы ЭД-20.

Таблица 1 – Предел прочности на сжатие наполненных и ненаполненных бетонных образцов

Table 1 – Compressive strength of filled and unfilled concrete samples

Наименование наполнителя	Предел прочности при сжатии $\sigma_{сж}$, МПа			
	0 %	1 %	5 %	10 %
Без наполнителя	2,24	–	–	–
ЭД-20	–	3,66	3,95	5,91
Стеклопластик	–	5,94	3,63	2,86
Углепластик	–	3,93	2,83	–

Таблица 2 – Модуль упругости наполненных и ненаполненных бетонных образцов

Table 2 – Modulus of elasticity of filled and unfilled concrete samples

Наименование наполнителя	Модуль упругости $E_{сж}$, МПа			
	0 %	1 %	5 %	10 %
Без наполнителя	56,00	–	–	–
ЭД-20	–	64,62	166,67	253,33
Стеклопластик	–	176,00	58,82	63,33
Углепластик	–	120,00	40,00	–

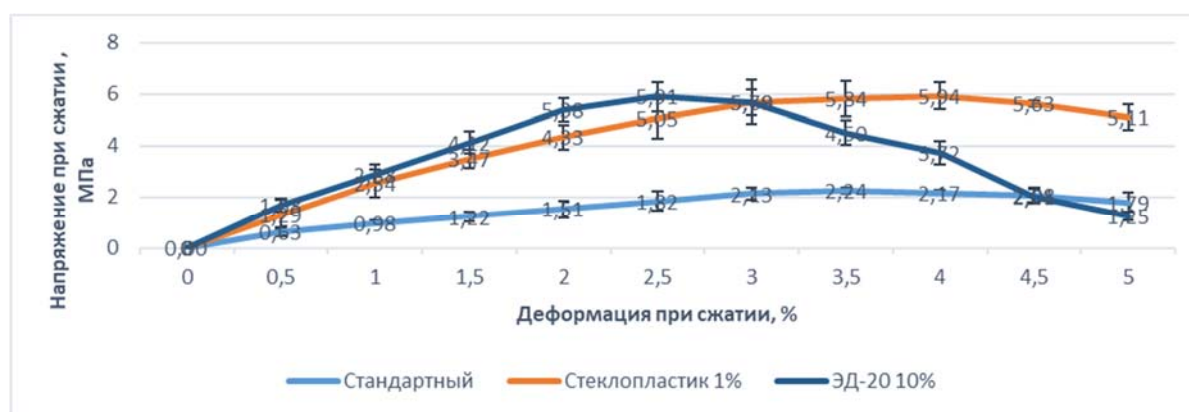


Рисунок 2 – Графики напряжения стандартных и наполненных бетонных образцов при сжатии

Figure 2 – Stress graphs of standard and filled concrete samples during compression

Наилучшие результаты улучшения физико-механических характеристик бетонных образцов представлены на рисунке 2. При сравнительном анализе графиков нагружения бетонных образцов можно выделить резкий перепад у образцов, наполненных частицами смолы ЭД-20 и плавный перепад у образцов, наполненных частицами стеклопластика, из чего можно сделать вывод, что об-

разцы, наполненные частицами стеклопластика, имеют более высокое сопротивление разрушению.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования, проводимые в данной работе, были направлены на решение двух актуальных задач – это решение проблемы утилизации полимерных композиционных материалов и повышение физико-механических свойств бетонов.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ БЕТОНОВ, АРМИРОВАННЫХ ЧАСТИЦАМИ ВТОРИЧНО ПЕРЕРАБОТАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В результате было выяснено, что для наполнения бетонных образцов необходимо использовать мелкодисперсные частицы. Также при испытаниях на сжатие бетонных образцов с различной степенью наполнения можно отметить закономерность увеличения физико-механических характеристик бетонов с увеличением степени наполнения частицами отвержденной смолы ЭД-20, в то время как при наполнении бетонов частицами стеклопластика и углепластика наблюдалась обратная картина: с увеличением степени наполнения значения прочности на сжатие и модуля упругости уменьшались.

После анализа данных также стоит отметить аномальные результаты у образцов, наполненных частицами стеклопластика со степенью наполнения 5 %: его результаты нарушают тенденцию данной серии образцов, модуль упругости оказался меньше, чем ожидалось.

Как следствие, при использовании мелкодисперсных частиц в качестве наполнителей необходимо учитывать вид наполнителя, от которого будет зависеть степень наполнения бетонных изделий.

Таким образом, данные исследования подтверждают эффективность способа переработки полимерных композиционных материалов в виде мелкодисперсных добавок в бетон.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аржакова О.В. Полимеры будущего / Аржакова О.В., Аржаков М.С., Бадамшина Э.Р., Брюзгина Е.Б. [и др.] // Успехи химии, 2022, 91(12). RCR5062.
2. Семёнов С.П. Анализ моделей углеродного цикла применительно к исследованию болотных экосистем Западной Сибири / Семёнов С.П., Ташкин А.О. // Вестник Югорского государственного университета, 2022, 4 (67). С. 145–152.
3. Дворин Л.И., Дворин О.Л. Д24 Строительное материаловедение. М. : Инфра-Инженерия, 2013. 832 с.
4. Рамачандран В.С. Наука о бетоне : физико-химическое бетоноведение / В. Рамачандран, Р. Фельдман, Дж. Бодуэн ; пер. с англ. Т.И. Розенберг, Ю.Б. Ратиновой ; под ред. В.Б. Ратинова. Москва : Стройиздат, 1986. 278 с. : ил.
5. Петров А.В. Технологии утилизации полимерных композиционных материалов / Петров А.В., Дориомедов М.С., Скрипачев С.Ю. // Научно-технический журнал «ТРУДЫ ВИАМ», 2015. № 8.
6. Шайерс Дж. Рециклинг пластмасс: наука, технологии, практика. / Пер. с англ. СПб. : Научные основы и технологии, 2012. 640 стр. : ил.
7. Ф. Ла Мантия (ред.). Вторичная переработка пластмасс ; пер. с англ. под ред. Г.Е. Заикова. СПб. : Профессия, 2006. 400 стр. : ил.

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

Статья поступила в редакцию 19 ноября 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 19 Nov 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.

8. ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.

Информация об авторах

С. В. Морозов – кандидат технических наук, и.о. зав. кафедрой современных специальных материалов Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

Я. М. Жумаканова – студент кафедры современных специальных материалов Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

REFERENCES

1. Arzhakova, O.V., Arzhakov, M.S., Badamshina, E.R. and others. (2022). Polymers of the future. Uspekhi Chemistry, 2022, 91(12). RCR5062. (In Russ.).
2. Semenov, S.P. & Tashkin, A.O. (2022). Analysis of carbon cycle models applied to the study of wetland ecosystems in Western Siberia. Bulletin of Yugra State University, 4 (67). pp. 145-152. (In Russ.).
3. Dvorin, L.I. & Dvorin, O.L. (2013). D24 Construction Materials Science. M. : Infra-Engineering, 2013. 832 s.
4. Ramachandran, V.S., Feldman, R. & Boudouin, J. (1986). Science of Concrete: Physical and Chemical Concrete Science. trans. from English by T.I. Rosenberg, Yu.B. Ratinova; edited by V.B. Ratinov. Moscow : Stroyizdat, 1986. 278 p. (In Russ.).
5. Petrov, A.V., Doriomedov, M.S. & Skripachev, S.Yu. (2015). Technologies for recycling polymer composite materials. Scientific and technical journal "TRUDY VIAM", 2015. No. 8. (In Russ.).
6. Shires, J. (2012). Plastics recycling: science, technology, practice. Translated from English. St. Petersburg : Scientific foundations and technologies, 2012. 640 p.
7. F.La Mantia (ed.) (2006). Recycling of plastics trans. from English. ed. G.E. Zaikov. St. Petersburg : Profession, 2006. 400 p. (In Russ.).
8. HOST 10180-2012 (2011). Concretes. Methods for determining strength using control samples.

Information about the authors

S.V. Morozov - Ph.D. in Engineering Science, Docent of the Department of Modern Special Materials of the Polzunov Altai State Technical University.

Y.M. Zhumakanova - student of the Department of Modern Special Materials of the Polzunov Altai State Technical University.



Научная статья
2.6.17 – Материаловедение (технические науки)
УДК 621.785.532

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.041



ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 7075 ПОСЛЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО АЗОТИРОВАНИЯ

Ирина Алексеевна Панченко ¹, Владислав Константинович Дробышев ²,
Сергей Валерьевич Коновалов ³, Дмитрий Николаевич Лабунский ⁴,
Алмаз Юниорович Назаров ⁵,

^{1, 2, 3, 4} Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия

⁵ Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

¹ i.r.i.ss@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4863-0000>

² drobyshev_v.k@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1532-9226>

³ konovalov@sibsiu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4809-8660>

⁴ info@kana-t.ru

⁵ nazarov.ayu@ugatu.su, <https://orcid.org/0000-0002-4711-4721>

Аннотация. Исследовано изменение микроструктуры и фазового состояния алюминиевого сплава марки 7075 до и после азотирования. Сплав был изготовлен проволочно-дуговым аддитивным способом, в области подложки которого преобладали столбчатые зерна, в центральной части присутствовали столбчатые и дендритные структуры, периферийная зона изготовленного слитка демонстрировала равноосные структуры с размером зерна до 50 мкм. Рассматриваемая структурная неоднородность обусловлена скоростью охлаждения заготовки, термическим градиентом в процессе послойного изготовления материала. На основе микрорентгеноспектрального анализа были обнаружены η-фаза ($MgZn_2$) и S-фаза (Al_2CuMg), сконцентрированные у границ зерен. Сплав представлен обособленными металлическими включениями Al_2Si (θ-фаза), образующихся из-за медленного охлаждения или перегрева металла.

После проведения азотирования в дуговом разряде с использованием плазменного источника (накаленный катод) в исследуемом сплаве наблюдалось формирование поликристаллической структуры, характеризующейся размерами ячеек в диапазоне 60–200 мкм. В сплаве после низкотемпературного азотирования присутствовали единичные интерметаллические соединения $MgZn_2$ (η) и Al_2Si (θ). Обнаружено незначительное изменение элементного состава образца, обусловленное процессом плазменного азотирования, которое способствует перераспределению легирующих элементов с последующим формированием упрочненного поверхностного слоя. Полученные результаты подчеркивают влияние технологических параметров на изменение микроструктуры и фазового состава аддитивно изготовленных алюминиевых сплавов после азотирования.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, аддитивное производство, низкотемпературное азотирование, структурно-фазовое состояние, равноосные, столбчатые зерна.

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-10245, <https://rscf.ru/project/22-79-10245/>.

Для цитирования: Изменение структурно-фазового состояния алюминиевого сплава 7075 после низкотемпературного азотирования / И. А. Панченко [и др.] // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 234–239. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.041. EDN: <https://elibrary.ru/YTOCPS>.

Origin article

CHANGES IN STRUCTURAL-PHASE STATE OF ALUMINUM ALLOY 7075 AFTER LOW-TEMPERATURE NITRIDING

Irina A. Panchenko ¹, Vladislav K. Drobyshev ², Sergei V. Kononov ³,
Dmitry N. Labunsky ⁴, Almaz Yu. Nazarov ⁵

^{1, 2, 3, 4} Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

⁵ Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

¹ i.r.i.ss@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4863-0000>

² drobyshev_v.k@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1532-9226>

³ ksv@ssau.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4809-8660>

⁴ info@kana-t.ru

⁵ nazarov.ayu@ugatu.su, <https://orcid.org/0000-0002-4711-4721>

© Панченко И. А., Дробышев В. К., Коновалов С. В., Лабунский Д. Н., Назаров А. Ю., 2025

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 7075 ПОСЛЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО АЗОТИРОВАНИЯ

Abstract. The change in the microstructure and phase state of aluminum alloy grade 7075 before and after nitriding was studied. The alloy was produced by the wire-arc additive method, in the substrate area of which columnar grains prevailed, in the central part there were columnar and dendritic structures, the peripheral zone of the manufactured ingot demonstrated equiaxed structures with a grain size of up to 50 μm . The considered structural heterogeneity is caused by the cooling rate of the workpiece, the thermal gradient in the process of layer-by-layer production of the material. Based on the micro-X-ray spectral analysis, the η -phase (MgZn_2) and S-phase (Al_2CuMg) concentrated at the grain boundaries were detected. The alloy is represented by isolated metallic inclusions of Al_2Cu (θ -phase), formed due to slow cooling or overheating of the metal. After nitriding in an arc discharge using a plasma source (hot cathode), the formation of a polycrystalline structure characterized by cell sizes in the range of 60–200 μm was observed in the studied alloy. Single intermetallic compounds MgZn_2 (η) and Al_2Cu (θ) were present in the alloy after low-temperature nitriding. A slight change in the elemental composition of the sample was detected, caused by the plasma nitriding process, which promotes the redistribution of alloying elements with the subsequent formation of a hardened surface layer. The obtained results emphasize the influence of process parameters on the change in the microstructure and phase composition of additively manufactured aluminum alloys after nitriding.

Keywords: Aluminum alloys, additive manufacturing, low-temperature nitriding, structural-phase state, equiaxed, columnar grains.

Acknowledgment: This study is funded by a grant of the Russian Science Foundation, project 22-79-10245. <https://rscf.ru/en/project/22-79-10245/>.

For citation: Panchenko, I.A., Drobyshchev, V.K., Konovalov, S.V., Labunsky, D.N. & Nazarov, A.Yu. (2025). Changes in the structural-phase state of aluminum alloy 7075 after low-temperature nitriding. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 234–239. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.041. EDN: <https://elibrary.ru/YTOCPS>.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы алюминиевые сплавы привлекли большое внимание исследователей из-за их механических свойств, таких как удельная прочность, плотность, износ, усталостная прочность и тепловое расширение. Предпочтительной группой алюминиевых сплавов являются сплавы 7xxx серии, обладающие высоким соотношением прочности к весу, пластичностью и коррозионной стойкостью [1, 2], хорошо подходящие для применения в автомобильной промышленности (кузовные панели, каркасы сидений, колесные диски) [3].

В алюминиевом сплаве 7075 цинк и магний являются главными легирующими элементами и их высокое содержание (более 6 %) обеспечивает повышенную прочность [4] и восприимчивость к термической обработке, но при этом наблюдается максимальная склонность к коррозионному растрескиванию под напряжением. Небольшие добавки меди, хрома, марганца вызывают незначительное упрочнение материала и необходимы для контроля роста зерна при рекристаллизации [5]. Примеси кремния в сплаве AA7075 могут снижать вязкость разрушения и усталостную прочность.

Повышение механических свойств при высоких нагрузках остается актуальной задачей для компонентов, работающих в условиях циклических нагрузок. Для повышения механических свойств сплава 7075, изготовленного проволочно-дуговым аддитивным способом, предлагается проведение низкотемпературного азотирования в дуговом разряде при помощи плазменного источника с накаливаемым катодом.

Низкотемпературное азотирование алюминиевых сплавов является важным процессом модификации механических свойств поверхности (износостойкость и коррозионные свойства) без ущерба для основных свойств материала. Этот процесс позволяет избежать фазовых переходов и нежелательных осадков соединений, которые могут произойти при более высоких температурах, тем самым сохраняя химическую однородность [7]. Для повышения коррозионной стойкости алюминиевого сплава 7075-T6 в солевых средах плазменное азотирование продемонстрировало эффективность 64,2 % [8]. Низкотемпературное азотирование повышает твердость поверхности алюминиевых сплавов, что крайне важно при

применении в условиях, требующих высокой износостойкости. Одна из причин – образование на поверхности слоев нитрида алюминия AlN , который значительно повышает прочность сплава при механических нагрузках [9]. Хотя азотирование демонстрирует повышение микротвердости на 15–40 % [10], однако рассматриваемый процесс сопряжен с риском возникновения хрупкого разрушения и снижения пределов прочности при растяжении на 10–25 % [11]. Указанные эффекты обусловлены образованием хрупких нитридных соединений и трансформацией субмикронной структуры материала [12]. Поэтому выбор актуальных режимов проведения азотирования остается перспективным инструментом для целенаправленной коррекции функциональных свойств в соответствии с эксплуатационными требованиями, что подтверждает их ключевую роль в прикладном материаловедении и инженерных разработках. В настоящей работе оценено изменение микроструктуры и фазового состояния алюминиевого сплава марки 7075 до и после модифицирования поверхности низкотемпературным азотированием.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

В условиях НПЦ «Сварочные процессы и технологии» СибГИУ был изготовлен слиток из алюминиевого сплава марки 7075 с использованием 3D принтера, работающего по технологии моделирования методом послойного наплавления (FDM), в качестве источника питания для наплавки использовался сварочный аппарат. Наплавка исследуемого сплава осуществлялась на алюминиевую подложку толщиной не менее 10 мм, где в качестве защитного газа использовался Ar. Сплав был получен с использованием оптимального режима наплавки [13–15], обеспечивающего низкое разбрызгивание присадочного материала (проволоки) и минимизацию активных газов, влияющих на термическое разложение присадочных материалов. Из полученного слитка на электроэрозионном станке струйного типа ДК7732 вырезалось несколько образцов с различных областей заготовки (рисунок 1) в форме кубиков (10 мм³) для исследования микроструктуры, которые потом подвергались химико-термической обработке поверхности с одной стороны.

Модифицирование поверхности методом низкотемпературного азотирования проводилось в условиях научно-исследовательской лаборатории «Металлы и сплавы при экстремальных воздействиях» на установке ННВ-6,6-И1. Данная установка позволяет проводить очистку, активацию и нагрев поверхности обрабатываемых деталей ионами рабочего газа, генерируемого сильноточным плазменным источником с накаливаемым катодом. Азотирование осуществляли в дуговом разряде при помощи плазменного источника с накаливаемым катодом при температуре 350 °С в течение 2 ч в газовой смеси 50 % аргона и 50 % азота; давление 0,5 Па; напряжение 500 В. Такие параметры проведения исследований выбраны с целью изучения

влияния низкотемпературного азотирования на образование нитридов алюминия и изменения структурно-фазового состояния материала. Перед азотированием образцы были отполированы до зеркального блеска (эту поверхность подвергали азотированию).

Для изучения изменения структуры сплава AA7075 до и после азотирования использовали сканирующий электронный микроскоп (прибор «КУКУ ЕМ-6900») со следующими рабочими параметрами: ускоряющее напряжение – 26 кВ, ток эмиссии – 150 мА, ток накала – 2,16 А. Проведение микрорентгеноспектрального анализа образцов осуществлялось с использованием энергодисперсионного спектрометра Oxford Xplore.



Рисунок 1 – Области исследования слитка из сплава AA7075, изготовленного проволочно-дуговым аддитивным способом: 1 – приграничная к подложке область; 2 – центральная область; 3 – периферийная область

Figure 1 – Study areas of the AA7075 alloy ingot manufactured by the wire-arc additive method: 1 – area adjacent to the substrate; 2 – central area; 3 – peripheral area

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для анализа микроструктуры наплавленных образцов до азотирования использовали сканирующую электронную микроскопию (СЭМ). На рисунке 1 продемонстрированы три ключевые зоны: периферийная, центральная и приграничная к подложке. Трещины при затвердевании материала не обнаружены, а средняя пористость не превышает 2 %. При наплавке периферийного слоя (рисунок 2, а) происходит переплав верхних слоев заготовки, формируя область с высокой скоростью охлаждения (обусловленную межслойным охлаждением), способствуя образованию равноосных зерен с размером до 50 мкм. В центральной области (рисунок 2, б) наблюдается смешанная структура из столбчатых и дендритных зерен. Это связано с уменьшением

термического градиента из-за накопления тепла по мере послойного изготовления слитка. В приграничной к подложке области преобладают столбчатые зерна, что объясняется сниженным рассеиванием тепла. Наплавка сплава AA7075 аддитивным способом формирует сложную микроструктуру, зависящую от тепловых условий. Ключевые факторы – скорость охлаждения, термический градиент и многократный нагрев. Отсутствие трещин и низкая пористость (менее 2 %) подтверждают технологическую стабильность процесса, однако неоднородность зерен требует дальнейшую оптимизацию режимов для улучшения микроструктуры и дальнейших механических свойств сплава.

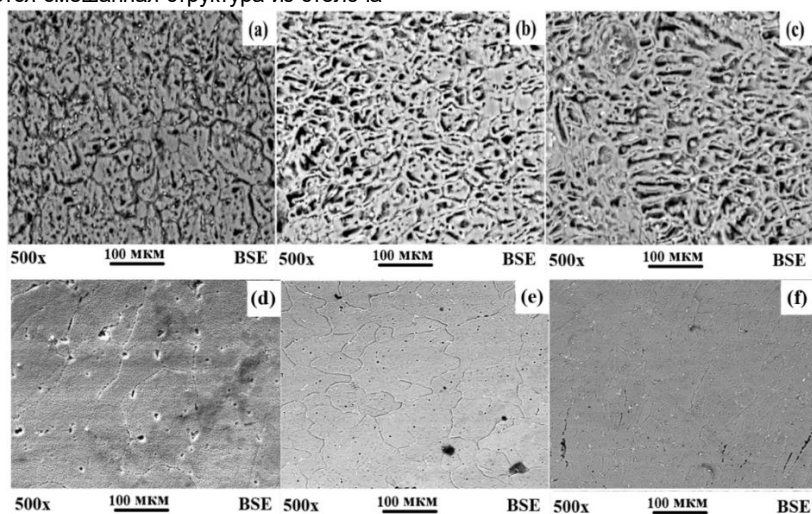


Рисунок 2 – Микроструктура алюминиевого сплава AA7075 в различных областях до и после азотирования: а – периферийная область; б – центральная область; в – приграничная к подложке область; д – периферийная область после азотирования; е – центральная область после азотирования; ф – приграничная к подложке область после азотирования

Figure 3 – Microstructure of aluminum alloy AA7075 in different areas before and after nitriding: а – peripheral area; б – central area; в – area bordering the substrate; д – peripheral area after nitriding; е – central area after nitriding; ф – area bordering the substrate after nitriding

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 7075 ПОСЛЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО АЗОТИРОВАНИЯ

В алюминиевом сплаве марки 7075, содержащем цинк, магний и медь в качестве легирующих элементов, может образовываться несколько интерметаллических соединений, способствующих механическим свойствам сплава и его коррозионной стойкости. Присутствие этих интерметаллидов имеет решающее значение для эксплуатационных характеристик

сплава. Поэтому для дальнейшего исследования структурно-фазового состояния до и после азотирования была выбрана периферийная область сплава AA7075 с равномерным распределением равноосных зерен. Идентификацию интерметаллидных включений осуществляли с использованием микрорентгено-спектрального анализа (рисунок 3).

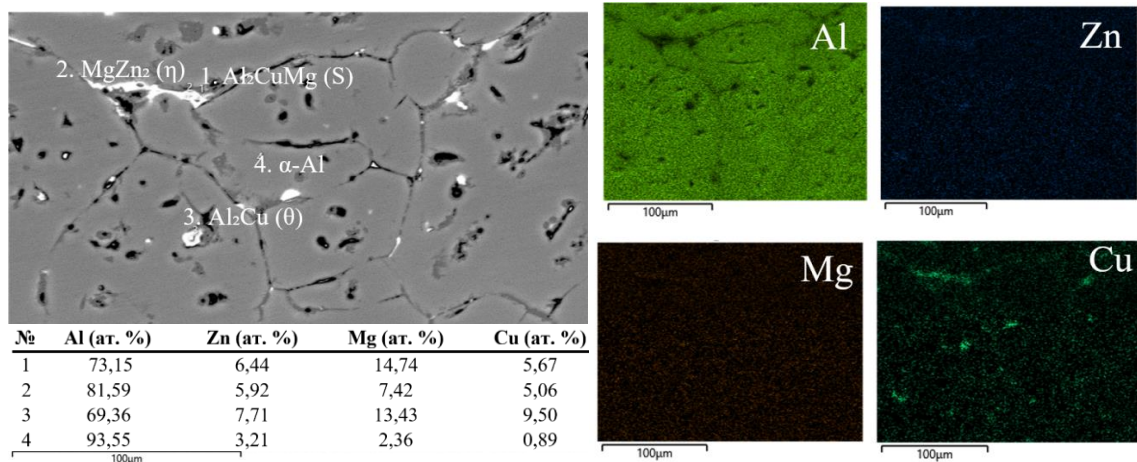


Рисунок 3 – СЭМ изображение алюминиевого сплава AA7075 с точечным микрорентгеноспектральным анализом

Figure 3 – SEM image of aluminum alloy AA7075 with spot micro-X-ray spectral analysis

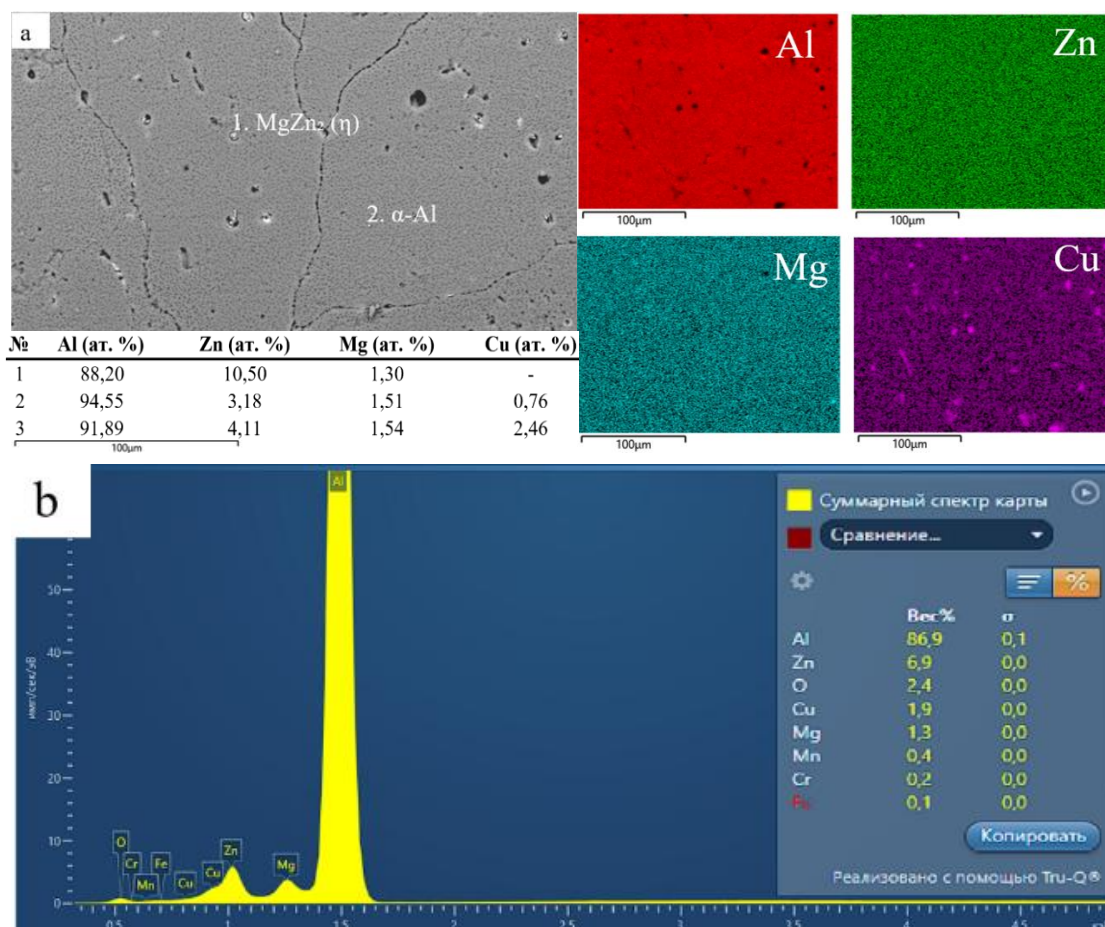


Рисунок 4 – Микрорентгеноспектральный анализ модифицированной поверхности сплава AA7075: а – СЭМ изображение исследуемой поверхности; б – микрорентгеноспектральный анализ исследуемой области с суммарным элементарным содержанием

Figure 4 – Micro X-ray spectral analysis of the modified surface of the AA7075 alloy:

a – SEM image of the studied surface; b – micro-X-ray spectral analysis of the studied area with the total elemental content

В периферийной области сплава микроструктура демонстрирует четкие границы зерен, что указывает на выделение вторичных фаз. Ключевыми фазами, влияющими на прочность сплава системы Al – Zn – Mg, являются η-фаза ($MgZn_2$) и S-фаза (Al_2CuMg), сконцентрированные у границ зерен [16–18]. Сплав представлен обособленными металлическими включениями Al_2Cu (θ-фаза), образующихся из-за медленного охлаждения или перегрева металла. Основная фаза представлена твердым раствором α-Al, в котором растворены 6,9 ат. % Zn; 2,0 ат. % Mg; 1,9 ат. % Cu; 1,7 ат. % O; 0,4 ат. % Mn; 0,2 ат. % Cr; 0,1 ат. % Fe. Для модифицирования поверхностных свойств сплава AA7075 было проведено низкотемпературное азотирование в дуговом разряде при помощи плазменного источника с накаливаемым катодом. СЭМ изображение азотированной поверхности представлено на рисунке 4.

Изменение размера зерен в образовавшемся слое после бомбардировки и травления ионами составило до 200 мкм. Стоит отметить, что присутствуют единичные интерметаллические соединения $MgZn_2$ (η) и Al_2Cu (θ), остальные соединения, представленные фазы Al_2CuMg (S), не были обнаружены микрорентгеноспектральным анализом, что можно связать с их частичным растворением в твердом растворе. На основе микрорентгеноспектрального анализа в модифицированной поверхности алюминиевого сплава AA7075 можно отметить следующее содержание элементов: 6,9 ат. % Zn; 2,4 ат. % O; 1,9 ат. % Cu; 1,3 ат. % Mg; 0,4 ат. % Mn; 0,2 ат. % Cr; 0,1 ат. % Fe. После азотирования возросло содержание атомов кислорода до 2,4 ат. %, что можно связать с дополнительным образованием поверхностного слоя Al_2O_3 . На основе результатов микрорентгеноспектрального анализа отмечено снижение Mg до 1,3 ат. %, указанное изменение элементного состава может быть обусловлено процессом плазменного азотирования, которое способствует образованию $MgZn_2$ и Al_2Cu с последующим формированием упрочненного поверхностного слоя [19, 20].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Морфология сплава AA7075, изготовленного проволочно-дуговым аддитивным способом, изменяется в зависимости от расстояния до подложки. Так, в приграничной к подложке области преобладают столбчатые зерна, в центральной области наблюдается смешанная структура из столбчатых и дендритных зерен, периферийная область состоит из равноосных зерен до 100 мкм. Такое отличие в микроструктуре связано со следующими параметрами: скоростью охлаждения заготовки, температурным градиентом и многократным нагревом. Морфология сплава AA7075 после обработки в дуговом разряде имела зеренную (поликристаллическую) структуру. Размер ячеек образовавшегося слоя после бомбардировки и травления ионами составил от 60 до 200 мкм. Обнаружено незначительное изменение элементного состава образца, обусловленное процессом плазменного азотирования, которое способствует перераспределению легирующих элементов с последующим формированием упрочненного поверхностного слоя. Полученные результаты подчеркивают влияние технологических параметров на изменение микроструктуры и фазового состава аддитивно изготовленных алюминиевых сплавов после азотирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. U. Sen, K. Sharma. Friction Stir Processing of Aluminum Alloys: a Literature Survey, vol. 2, (2016), pp. 771–774.
2. Murugesan R., Venkataramana S.H., Marimuthu S., Anand P., Nagaraja S., Isaac J.S., Sudharsan R.R., Khan T.M.Y.,

Almakayee N., Islam S. & Razak A. (2023). Influence of Alloying Materials Al, Cu, and Ca on Microstructures, Mechanical Properties, And Corrosion Resistance of Mg Alloys for Industrial Applications: A Review. *ACS Omega*. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c03417>.

3. Abdollahi A. [et al.]. An adapted approach for solidification crack elimination in Al7075 TIG welding // *Materials Research Express*. 2024. Vol. 11. No. 4. p. 46509.

4. A. Huang Y., Sun P., Sun L., Li Y., Zheng X., Li X., Yan H., Li B., Liu Y. & Du Y. (2023). Effect of Zn/Mg ratio on aging precipitates and mechanical property of high Mg content Al-Mg-Zn alloys with Sc and Zr additions. *Journal of Alloys and Compounds*. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2023.173368>.

5. Wang X., Liu S. & Lin Y. (2022). Effect of Zn and Cu Addition on Microstructure and Mechanical Properties of Al-10wt%Mg Alloy. *Superalloys*, 12(6), 1037. <https://doi.org/10.3390/met12061037>.

6. Zhou H., Wen K., Yin H., Yu M. & Shi G. (2023). Study on the effect of enhanced magnesium and copper contents on microstructure and property of Al-Zn-Mg-Cu alloys with high zinc element content during fabrication processes. 2566. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2566/1/012018>.

7. Kiriti-Nganga T. (2023). Low Temperature Nitriding of Metal Alloys for Surface Mechanical Performance. *Materials*, 16(13), 4704. <https://doi.org/10.3390/ma16134704>.

8. Choi J., Yoo J., Kang K. & Lee H.M. (2024). To elucidate the effect of alloying elements for enhanced nitriding of aluminum: A multiscale computational study. *Materials Chemistry and Physics*. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2023.128727>.

9. B.M. Girish, B.M. Satish, H.R. Vitala. (2022). Study on the Effect of Nitriding on Wear Behavior of Graphite Reinforced Aluminum Alloy Composites. 23–34. doi: 10.9734/bpi/nper/v6/15230d.

10. Paweł Widomski, Marcin Kaszuba, Paweł Sokolowski, Artur Lange, Mariusz Walczak, Marcin Dugozima, Mateusz Gierek, Dariusz Chocyk, Grzegorz Gładyszewski, Bożena Boryczko. (2023). Nitriding of hardfaced layers as a method of improving wear resistance of hot forging tools. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 23. doi: 10.1007/s43452-023-00778-5.

11. N.K. Kioni, A.A. Mingazheva, A.D. Mingazhev. (2022). Increasing of wear resistance of machine parts by nitriding while suppressing of nitride mesh formation process. *Strengthening Technologies and Coatings*, 571–574. doi: 10.36652/1813-1336-2022-18-12-571-574.

12. Yoshida Masashi & Tao Zhou & Utsumi Noah. (2014). Formation of Aluminum Nitride Films by Gas Nitriding. *Key Engineering Materials*. doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.625.651.

13. Study of mechanical properties of AA7075 alloy obtained by additive method / V.K. Drobyshev [et al.] // *Polzunovsky Vestnik*. 2024. No. 4. P. 156–160. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.023.

14. Study of influence of additive wire-arc manufacturing modes on microstructure of AA7075 alloy / I.A. Panchenko, D.A. Bessonov, S.V. Kononov, D.N. Labunsky // *Non-Ferrous Metals*. 2024. No. 2. P. 84–89. DOI: 10.17580/nfm.2024.02.13. EDN IQZUOR.

15. Дробышев В.К., Панченко И.А. & Коновалов С.В. (2024). Механические свойства и микроструктура сплавов системы CoCrFeMnNi: Ползуновский вестник, (2), 249–254. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.033>.

16. Vlach M., Kodetová V., Cizek J., Leibner M., Kekule T., Lukáč F., Cieslar M., Bajtošová L., Kudrnová H., Šíma V., Zikmund S., Černošková E., Kutálek P., Neubert V. & Neubert V. (2020). Role of Small Addition of Sc and Zr in Clustering and Precipitation Phenomena Induced in AA7075. 11(1), 8. <https://doi.org/10.3390/MET11010008>.

17. Su R. (2022). The Corrosive Improvement with High Temperature Laser Surface Treatment of AA7075. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 32(10), 4352–4360. <https://doi.org/10.1007/s11665-022-07422-y>.

18. Kairy S.K., Gharbi O., Nicklaus J., Jiang D., Hutchinson C. & Birbilis N. (2019). On the Characterization of a Hitherto Unreported Icosahedral Quasicrystal Phase in Additively Manufactured Aluminum Alloy AA7075. *Metallurgical and Materi-*

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 7075 ПОСЛЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО АЗОТИРОВАНИЯ

als Transactions A-Physical Metallurgy and Materials Science, 50(2), 529–533. <https://doi.org/10.1007/S11661-018-5025-1>.

19. Zdeněk Pokorný, Jaromír Kadlec, Zdenek Joska, Zbynek Studeny, Miroslav Pospichal, David Dobrocky. (2016). Increasing of Durability of Surfaces by Plasma Nitriding Process. Solid State Phenomena, 258:583-586. doi: 10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/SSP.258.583.

20. Rogers S., Dargusch M.S. & Kent, D. (2023). Impacts of Temperature and Time on Direct Nitridation of Aluminium Powders for Preparation of AlN Reinforcement. *Materials*, 16(4), 1583. <https://doi.org/10.3390/ma16041583>.

Информация об авторах

И. А. Панченко – кандидат технических наук, заведующий лабораторией электронной микроскопии и обработки изображений Сибирского государственного индустриального университета.

В. К. Дробышев – научный сотрудник лаборатории электронной микроскопии и обработки изображений Сибирского государственного индустриального университета.

С. В. Коновалов – доктор технических наук, профессор, проректор по научной и инновационной деятельности Сибирского государственного индустриального университета.

Д. Н. Лабунский – соискатель ученой степени кандидата наук, Сибирского государственного индустриального университета.

А. Ю. Назаров – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, Уфимского университета науки и технологий.

REFERENCES

1. U. Sen, K. Sharma. Friction Stir Processing of Aluminum Alloys: a Literature Survey, vol. 2, (2016), pp. 771-774.

2. Murugesan, R., Venkataramana, S.H., Marimuthu, S., Anand, P., Nagaraja, S., Isaac, J.S., Sudharsan, R.R., Khan, T.M.Y., Almakayee, N., Islam, S. & Razak, A. (2023). Influence of Alloying Materials Al, Cu, and Ca on Microstructures, Mechanical Properties, And Corrosion Resistance of Mg Alloys for Industrial Applications: A Review. *ACS Omega*. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c03417>.

3. Abdollahi, A. [et al.]. An adapted approach for solidification crack elimination in Al7075 TIG welding // *Materials Research Express*. 2024. Vol. 11. No. 4. p. 46509.

4. A. Huang, Y., Sun, P., Sun, L., Li, Y., Zheng, X., Li, X., Yan, H., Li, B., Liu, Y. & Du, Y. (2023). Effect of Zn/Mg ratio on aging precipitates and mechanical property of high Mg content Al-Mg-Zn alloys with Sc and Zr additions. *Journal of Alloys and Compounds*. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2023.173368>.

5. Wang, X., Liu, S. & Lin, Y. (2022). Effect of Zn and Cu Addition on Microstructure and Mechanical Properties of Al-10wt%Mg Alloy. *Superalloys*, 12(6), 1037. <https://doi.org/10.3390/met12061037>.

6. Zhou, H., Wen, K., Yin, H., Yu, M. & Shi, G. (2023). Study on the effect of enhanced magnesium and copper contents on microstructure and property of Al-Zn-Mg-Cu alloys with high zinc element content during fabrication processes. 2566. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2566/1/012018>.

7. Kiriti-Nganga, T. (2023). Low Temperature Nitriding of Metal Alloys for Surface Mechanical Performance. *Materials*, 16(13), 4704. <https://doi.org/10.3390/ma16134704>.

8. Choi, J., Yoo, J., Kang, K. & Lee, H.M. (2024). To elucidate the effect of alloying elements for enhanced nitriding of aluminum: A multiscale computational study. *Materials Chemistry and Physics*. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2023.128727>.

9. B.M., Girish, B.M., Satish, H.R., Vitala. (2022). Study on the Effect of Nitriding on Wear Behavior of Graphite Reinforced Aluminum Alloy Composites. 23-34. doi: 10.9734/bpi/nper/v6/15230d.

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

Статья поступила в редакцию 19 ноября 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 19 Nov 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.

10. Paweł, Widomski, Marcin, Kaszuba, Paweł, Sokolowski, Artur, Lange, Mariusz, Walczak, Marcin, Długozima, Mateusz, Gierek, Dariusz, Chocyk, Grzegorz, Gładyszewski, Bożena, Boryczko. (2023). Nitriding of hardfaced layers as a method of improving wear resistance of hot forging tools. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 23. doi: 10.1007/s43452-023-00778-5.

11. N.K., Krioni, A.A., Mingazheva, A.D., Mingazhev. (2022). Increasing of wear resistance of machine parts by nitriding while suppressing of nitride mesh formation process. *Strengthening Technologies and Coatings*, 571-574. doi: 10.36652/1813-1336-2022-18-12-571-574.

12. Yoshida, Masashi & Tao, Zhou & Utsumi, Noah. (2014). Formation of Aluminum Nitride Films by Gas Nitriding. *Key Engineering Materials*. doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.625.651.

13. Study of mechanical properties of AA7075 alloy obtained by additive method. / V.K. Drobyshev [et al.] // *Polzunovsky Vestnik*. 2024. No. 4. P. 156-160. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.023.

14. Panchenkol, A., Bessonov, D.A., Kononov, S.V., Labunsky, D.N. (2024). Study of influence of additive wire-arc manufacturing modes on microstructure of AA7075 alloy. *Non-Ferrous Metals*. (2), 84-89. DOI: 10.17580/nfm.2024.02.13. EDN IQZUOR.

15. Drobyshev, V.K., Panchenko, I.A. & Kononov, S.V. (2024). MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE OF ALLOYS OF THE CoCrFeMnNi: *Polzunovsky Vestnik*, (2), 249-254. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.033>.

16. Vlach, M., Kodetová, V., Cizek, J., Leibner, M., Kekule, T., Lukáč, F., Cieslar, M., Bajtošová, L., Kudrnová, H., Šima, V., Zikmund, S., Černošková, E., Kutálek, P., Neubert, V. & Neubert, V. (2020). Role of Small Addition of Sc and Zr in Clustering and Precipitation Phenomena Induced in AA7075. 11(1), 8. <https://doi.org/10.3390/MET11010008>.

17. Su, R. (2022). The Corrosive Improvement with High Temperature Laser Surface Treatment of AA7075. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 32(10), 4352-4360. <https://doi.org/10.1007/s11665-022-07422-y>.

18. Kairy, S.K., Gharbi, O., Nicklaus, J., Jiang, D., Hutchinson, C. & Birbilis, N. (2019). On the Characterization of a Hitherto Unreported Icosahedral Quasicrystal Phase in Additively Manufactured Aluminum Alloy AA7075. *Metallurgical and Materials Transactions A-Physical Metallurgy and Materials Science*, 50(2), 529-533. <https://doi.org/10.1007/S11661-018-5025-1>.

19. Zdeněk, Pokorný, Jaromír, Kadlec, Zdenek, Joska, Zbynek, Studeny, Miroslav, Pospichal, David, Dobrocky. (2016). Increasing of Durability of Surfaces by Plasma Nitriding Process. *Solid State Phenomena*, 258:583-586. doi: 10.4028/WWW.SCI-ENTIFIC.NET/SSP.258.583.

20. Rogers, S., Dargusch, M.S. & Kent, D. (2023). Impacts of Temperature and Time on Direct Nitridation of Aluminium Powders for Preparation of AlN Reinforcement. *Materials*, 16(4), 1583. <https://doi.org/10.3390/ma16041583>.

Information about the authors

I.A. Panchenko - Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory of Electron Microscopy and Image Processing, Siberian State Industrial University.

V.K. Drobyshev - Researcher, Laboratory of Electron Microscopy and Image Processing, Siberian State Industrial University.

S.V. Kononov - Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for Research and Innovation, Siberian State Industrial University.

D.N. Labunsky - Candidate of Science, Siberian State Industrial University.

A.Yu. Nazarov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher, Ufa University of Science and Technology.



Научная статья

2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов (технические науки)

УДК 669

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.042



ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ НА ФОРМИРОВАНИЕ БОРИРОВАННОГО СЛОЯ НА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЯХ

Владимир Иванович Мосоров ¹, Константин Сергеевич Коробков ²,
Игорь Геннадьевич Сизов ³

^{1,2,3} Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, Улан-Удэ, Россия

¹ vlmosorov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0193-5310>

² k_korobkov00@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-5192-2140>

³ sigperlit@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4468-784X>

Аннотация. В работе представлены результаты исследования влияния содержания углерода в углеродистых сталях на параметры диффузии при борировании. Проведена серия экспериментов с различным содержанием углерода (0,2–1,0 %), температурами (900–950 °С) и временем процесса (3–4 ч). Установлено, что с увеличением содержания углерода существенно возрастает энергия активации диффузии бора (от 74,68 до 167,39 кДж/моль), что приводит к снижению скорости формирования борированного слоя.

Ключевые слова: химико-термическая обработка, диффузия, борирование, углеродистая сталь.

Для цитирования: Мосоров В. И., Коробков К. С., Сизов И. Г. Влияние энергии активации на формирование борированного слоя на углеродистых сталях // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 240–243. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.042. EDN: <https://elibrary.ru/FQLWMS>.

Original article

EFFECT OF ACTIVATION ENERGY ON FORMATION OF A BORON-CONTAINING LAYER ON CARBON STEELS

Vladimir I. Mosorov ¹, Konstantin S. Korobkov ², Igor G. Sizov ³

^{1,2,3} East Siberian State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia

¹ vlmosorov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0193-5310>

² k_korobkov00@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-5192-2140>

³ sigperlit@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4468-784X>

Abstract. The paper presents the results of a study of the effect of carbon content in carbonaceous steels on the diffusion parameters during boration. A series of experiments with different carbon content (0.2–1.0%), temperatures (900–950 °C) and process time (3–4 hours) were carried out. It was found that with an increase in carbon content, the activation energy of boron diffusion increases significantly (from 74.68 to 167.39 kJ/mol), which leads to a decrease in the rate of formation of the boron layer.

Keywords: chemical-thermal treatment, diffusion, boration, carbon steel.

For citation: Mosorov, V.I., Korobkov, K.S. & Sizov, I.G. (2025). Effect of activation energy on formation of a borated layer on carbon steels. Polzunovskiy vestnik, (3), 240–243. (In Russ). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.042. EDN: <https://elibrary.ru/FQLWMS>.

ВВЕДЕНИЕ

При эксплуатации инструментов и деталей машин происходит интенсивный износ поверхностных слоев, что существенно сокращает срок их службы. Одним из эффективных методов повышения эксплуатационных характеристик является химико-термическая обработка, в частности, борирование, что позволяет значительно повысить твердость, износостойкость и коррозионную стойкость поверхностных слоев деталей [1, 2, 3].

Борирование представляет собой процесс насыщения поверхностного слоя стальных изделий бором, в результате которого формируются бориды железа, об-

ладающие высокой твердостью (до 2000 HV) и износостойкостью [4]. Эффективность процесса борирования существенно зависит от химического состава обрабатываемых сталей, в частности, от содержания углерода.

В литературе отсутствует единое мнение относительно механизма влияния углерода на кинетику процесса диффузии бора. Имеющиеся исследования показывают, что с увеличением содержания углерода энергия активации диффузии бора возрастает, однако точные количественные закономерности этого явления не установлены. Некоторые работы описывают наличие связи между содержанием углерода и коэффициентом диффузии, но полученные данные огра-

ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ НА ФОРМИРОВАНИЕ БОРИРОВАННОГО СЛОЯ НА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЯХ

ничены узким диапазоном концентраций углерода, что не позволяет сделать обобщённые выводы [5–9].

Целью данной работы является количественная оценка влияния содержания углерода в углеродистых сталях на параметры диффузии при борировании.

МЕТОДЫ

В исследовании использовались образцы углеродистых сталей с содержанием углерода от 0,2 % до 1,0 %. Химический состав использованных сталей представлен в таблице 1.

Борирование проводилось в порошковых смесях на основе карбида бора (B_4C) с различными добавками (Al_2O_3 , $K(BF_4)$, NH_4Cl , FeO). Процесс осуществлялся при температурах 900 °C и 950 °C в течение 3 и 4 часов в герметичных контейнерах из жаростойкой стали с плавким затвором. После борирования образцы разрезались, шлифовались и полировались для металлографических исследований.

Глубина борированного слоя измерялась с помощью металлографического микроскопа с точностью ± 5 мкм. На основе экспериментальных данных рассчитывались коэффициенты диффузии по формуле 1:

$$D = h^2 / (4t), \quad (1)$$

где D – коэффициент диффузии (m^2/c), h – глубина борированного слоя (м), t – время процесса (с).

Энергия активации процесса диффузии определялась по формуле 2 уравнению Аррениуса:

Таблица 1 – Химический состав углеродистых сталей, в % / Table 1 – Chemical composition of carbon steels, in %

Марка	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Cu
Сталь 20	0,17–0,24	0,17–0,33	0,–0,8	до 0,035	до 0,03	до 0,30	до 0,25	до 0,30
Сталь 45	0,42–0,5	0,17–0,37	0,5–0,8	0,04	0,035	< 0,25	0,25	< 0,25
Сталь У10	0,95–1,09	0,17–0,33	0,17–0,33	< 0,03	0,03	< 0,25	0,2	< 0,25

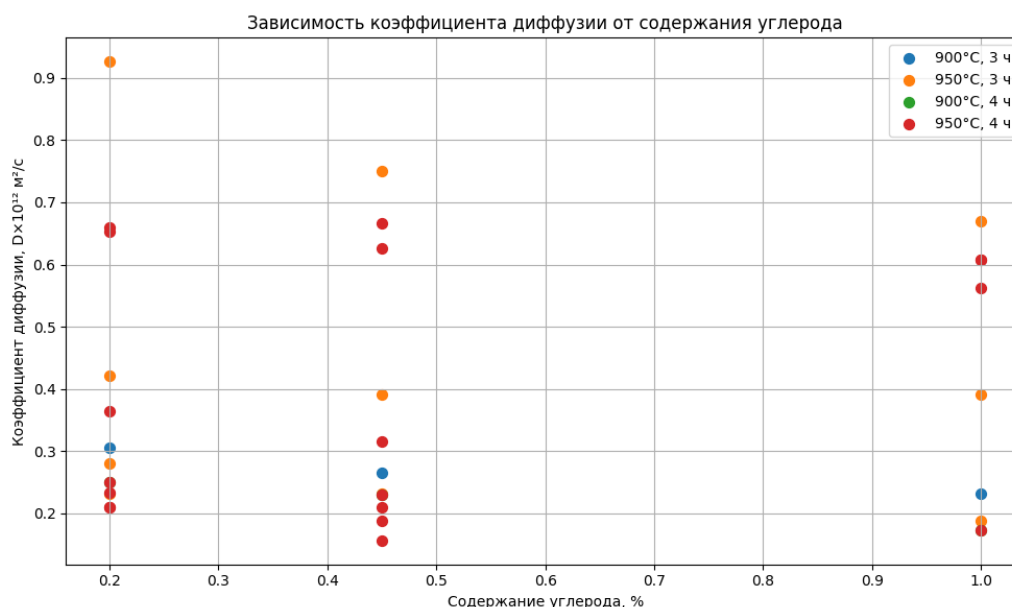


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента диффузии от содержания углерода

Figure 1 – Dependence of the diffusion coefficient on the carbon content

ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние температуры на коэффициент диффузии. Температурная зависимость коэффициента диффузии исследовалась с использованием графика Аррениуса (рисунок 2, который показывает зависи-

$$D = D_0 \exp(-Q/RT), \quad (2)$$

где D_0 – предэкспоненциальный множитель (m^2/c), Q – энергия активации (Дж/моль), R – универсальная газовая постоянная (8,314 Дж/(моль·К)), T – абсолютная температура (К).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Влияние содержания углерода на коэффициент диффузии.

Экспериментальные данные показывают, что коэффициент диффузии бора существенно зависит от содержания углерода в стали (рис. 1). Установлено, что для всех исследованных температур и времени процесса с увеличением содержания углерода коэффициент диффузии снижается. Это объясняется тем, что углерод образует карбиды, которые препятствуют диффузии атомов бора в кристаллической решетке железа.

Максимальные значения коэффициента диффузии наблюдаются при содержании углерода 0,2 % и температуре 950 °C ($D \approx 0,9 \cdot 10^{-10} m^2/c$). При увеличении содержания углерода до 1,0 % коэффициент диффузии снижается примерно на 35–40% при тех же условиях процесса. Интересно отметить, что разброс значений коэффициента диффузии при одинаковом содержании углерода связан с влиянием других факторов, в частности, состава насыщающей среды.

мость натурального логарифма коэффициента диффузии от обратной температуры). По наклону прямых на этом графике были определены значения энергии активации для различных содержаний углерода:

- при $C = 0.2\%$: $Q = 74.68$ кДж/моль, $D_0 = 5.44 \cdot 10^{-10} m^2/c$;

- при $C = 0.45\%$: $Q = 82.17$ кДж/моль, $D_0 = 1.05 \cdot 10^{-9}$ м²/с;
 - при $C = 1.0\%$: $Q = 167.39$ кДж/моль, $D_0 = 5.69 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

Полученные результаты указывают на существенное увеличение энергии активации с ростом содержания углерода. Особенно значителен скачок при переходе от 0,45 % до 1,0 % С (более чем в 2 раза). Это свидетельствует о качественном изменении механизма диффузии бора при высоком содержании углерода, что, вероятно, связано с образованием карбидных фаз и изменением микроструктуры стали.

Следует отметить компенсационный эффект: одновременное увеличение энергии активации и предэкспоненциального множителя. При $C = 1,0$ % предэкспоненциальный множитель D_0 на несколько порядков выше, чем при $C = 0,2$ % и $C = 0,45$ %. Это может быть связано с изменением механизма диффузии и свидетельствует о более сложном характере взаимодействия бора с углеродистыми сталями с высоким содержанием углерода.

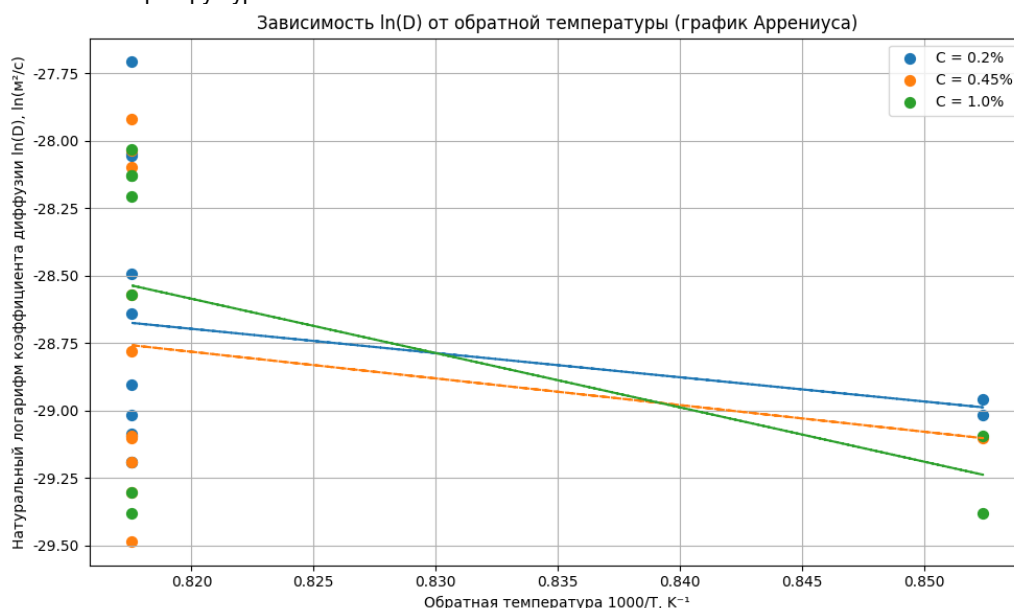


Рисунок 2 – Зависимость $\ln(D)$ от обратной температуры (график Аррениуса)

Figure 2 – $\ln(D)$ versus inverse temperature (Arrhenius plot)

Динамика формирования борированного слоя. На рисунке 3 представлена зависимость глубины борированного слоя от времени процесса для различных содержаний углерода и температур. Экспериментальные точки и теоретические кривые (пунк-

тирные линии) показывают, что зависимость глубины слоя от времени соответствует параболическому закону: $h = \sqrt{D \cdot 4 \cdot t}$, что подтверждает диффузионный механизм формирования боридного слоя.

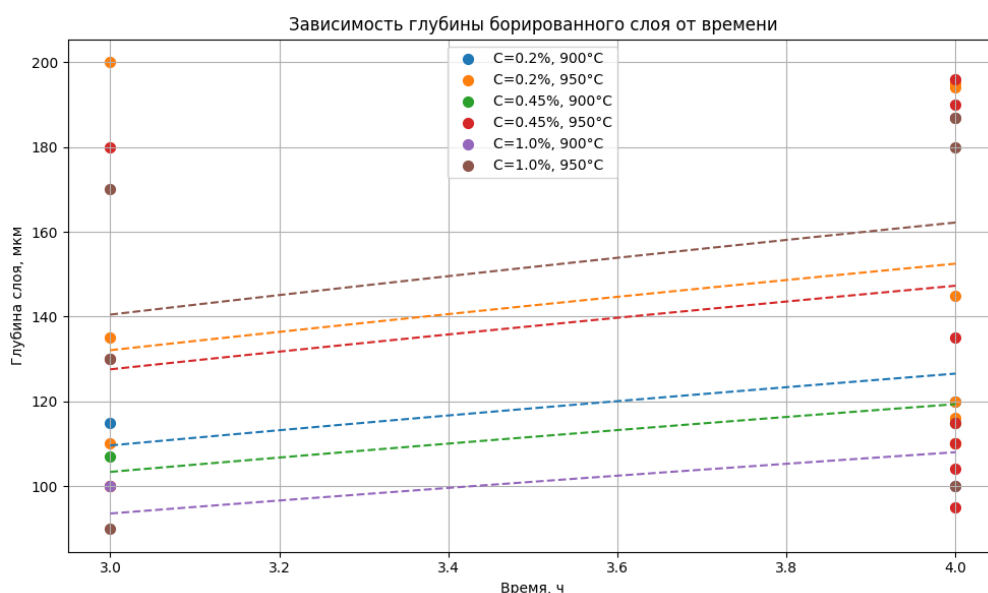


Рисунок 3 – Зависимость глубины борированного слоя от времени

Figure 3 – Dependence of the depth of the borated layer on time

ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ НА ФОРМИРОВАНИЕ БОРИРОВАННОГО СЛОЯ НА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЯХ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что содержание углерода в стали оказывает существенное влияние на параметры диффузии при борировании. С увеличением содержания углерода от 0,2 % до 1,0 % энергия активации диффузии бора возрастает с 74,68 до 167,39 кДж/моль, что приводит к снижению скорости формирования борированного слоя.

Определен компенсационный эффект, заключающийся в одновременном увеличении энергии активации и предэкспоненциального множителя с ростом содержания углерода в стали. При содержании углерода 1,0 % наблюдается качественное изменение механизма диффузии бора, что связано с образованием карбидных фаз и изменением микроструктуры стали.

Показано, что для высокоуглеродистых сталей ($C \approx 1,0\%$) повышение температуры процесса является более эффективным способом увеличения глубины борированного слоя, чем увеличение продолжительности процесса, из-за высокой энергии активации диффузии.

Полученные результаты имеют практическую значимость для разработки оптимальных режимов борирования деталей из углеродистых сталей с различным содержанием углерода и могут быть использованы в машиностроительном производстве для повышения эксплуатационных характеристик деталей и инструментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крукович М.Г., Прусаков Б.А., Сизов И.Г. Пластичность борированных слоев. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. 384 с.
2. Физические основы термоциклического борирования сталей / А.М. Гурьев [и др.]. Барнаул: ООО "Научно-исследовательский центр "Системы управления", 2000. 216 с.
3. Лыгденов Б.Д., Мосоров В.И., Мижитов А.Ц. Исследование фазового состава и дефектного состояния градиентных структур борированных сталей 45 и 5ХНВ // Вестник ВСГТУ. 2011. № 1. С. 25–31.
4. Ворошнин Л.Г., Ляхович Л.С. Борирование стали. М.: Металлургия, 1978. 240 с.
5. Абишева З.М. Влияние легирующих элементов на боридный слой изделий // Международный студенческий научный вестник. 2020. № 1. С. 29.
6. Козлов А.М., Кишкинская М.А. К механизму формирования борированного слоя на низкоуглеродистых легированных сталях // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 5. С. 369–375.
7. Влияние состава и фракции насыщающей смеси на морфологию диффузионных боридных покрытий / А.М. Гурьев [и др.] // Современные наукоемкие технологии. 2012. № 10. С. 49.
8. Полянский И.П., Вихрев Р.О., Сизов И.Г. Структура и свойства боридных покрытий на инструментальных сталях // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 171–177. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.021.
9. Баландин Ю.А. Диффузионное борирование, никелирование и бороникелирование инструментальных

сталей в псевдооживленном слое // Известия Челябинского научного центра, Выпуск 4(17), 2002.

Информация об авторах

В. И. Мосоров – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Металловедение и технологии обработки материалов» Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления.

К. С. Коробков – аспирант кафедры «Металловедение и технологии обработки материалов» Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления.

И. Г. Сизов – доктор технических наук, профессор, ректор Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления.

REFERENCES

1. Krukovich, M.G., Prusakov, B.A. & Sizov, I.G. (2010). Moscow: FIZMATLIT, 384 p.
2. Guryev, A.M., Kozlov, E.V., Ignatenko, L.N., & Popova, N.A. [et al.]. (2000). Physical Foundations of Thermocyclic Boronization of Steels. Barnaul: Scientific Research Center "Control Systems" LLC. 216 p.
3. Lygdenov, B.D., Mosorov, V.I. & Mizhitov, A.Ts. (2011). Research of the Phase Composition and Defect State of Gradient Structures of Borated Steels 45 and 5KhNV // Vestnik VSGUTI. No. 1. P. 25-31.
4. Voroshnin, L.G. & Lyakhovich, L.S. (1978). Boriding of Steel. Moscow: Metallurgy. 240 p.
5. Abisheva, Z.M. (2020). Influence of Alloying Elements on the Boride Layer of Products // International Student Scientific Bulletin. No. 1. P. 29.
6. Kozlov, A.M. & Kishkinskaya, M.A. (2023). On the Mechanism of Formation of a Borated Layer on Low-Carbon Alloyed Steels // Izvestiya of Tula State University. Technical Sciences. No. 5. P. 369-375.
7. Guryev, A.M., Kurkina, L.A., Ivanova, S.A., & Ivanova, T.G. (2012). Influence of the composition and fraction of the saturating mixture on the morphology of diffusion boride coatings. Modern Science-Intensive Technologies. No. 10. P. 49.
8. Polyansky, I.P., Vikhrev, R.O. & Sizov, I.G. (2023). Structure and Properties of Boride Coatings on Tool Steels // Polzunovsky Vestnik. No. 1. Pp. 171-177. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.01.021.
9. Balandin, Yu.A. (2002). Diffusion Boriding, Nickel Plating, and Boronickel Plating of Tool Steels in a Fluidized Bed // Izvestiya of the Chelyabinsk Scientific Center, Issue 4(17).

Information about the authors

V.I. Mosorov - is a Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, and Head of the Department of Metallurgy and Material Processing Technologies at the East Siberian State University of Technology and Management.

K.S. Korobkov - is a postgraduate student at the Department of Metallurgy and Material Processing Technologies at the East Siberian State University of Technology and Management.

I.G. Sizov - is a Doctor of Technical Sciences, Professor, and Rector of the East Siberian State University of Technology and Management.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 19 ноября 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 19 Nov 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.



Научная статья
2.6.17 – Материаловедение (технические науки)
УДК 620.21

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.043



СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ МОДИФИКАТОРОВ ДЛЯ СТАЛИ 20ГЛ ПРИ ЛИТЬЕ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Сергей Анатольевич Гаврилов ¹, Дмитрий Александрович Шефер ²,
Сергей Геннадьевич Иванов ³, Михаил Алексеевич Гурьев ⁴

^{1, 2, 3, 4} Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

³ The Advanced Textile Technology Innovation Center (Jianhu Laboratory), Shaoxing, 312000, China

³ Hubei Digital Textile Equipment Key Laboratory, Wuhan Textile University, Wuhan, 430073, China

⁴ Zhejiang Brilliant Refrigeration Equipment Co, Ltd, Xingchang, 312500, China

¹ gavrilo. sergei@vniizht.ru

² shefer1402@mail.ru

³ serg225582@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5965-0249>

⁴ gurievma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9191-1787>

Аннотация. Работа посвящена актуальной проблеме повышения прочности литой малоуглеродистой и низколегированной стали 20ГЛ за счет применения модификаторов, используемых при выплавке стали. Изменение механических свойств достигалось путем печной и внепечной обработки расплава стали различными отечественными комплексными модификаторами и последующей термической обработки по выбранному режиму ТО. Образцы для сравнительных испытаний были получены по технологии литья по газифицируемым моделям (ЛГМ). Определение основных механических свойств проводилось при нормальной температуре, определение значений на ударный изгиб на образцах с U-образным надрезом – при минус 60 °С. Исследования показали существенную разницу в значениях свойств стали 20ГЛ в зависимости от применяемого модификатора. Применение комплексного модификатора МКкск 19 позволяет повысить сплошность отливки, снизить количество и размеры неметаллических включений и в целом получить однородную структуру по всему сечению образца (отливки). Ударная вязкость КСЧ₆₀ для всех образцов в ходе испытаний составила в 1,7–2,6 раза выше значений, указанных в ГОСТ 977-88, ГОСТ 21357-87 и ГОСТ 22703-2012. Однако наличие в структуре всех образцов видманитетта говорит о необходимости поиска наиболее оптимального режима ТО.

Ключевые слова: сталь, модифицирование, литье по газифицируемым моделям, ликвация, микроструктура, механические свойства, ударная вязкость, отрицательная температура.

Благодарности: Исследования выполнены в Центре коллективного пользования АлтГТУ и лаборатории микроскопических исследований ИЦ «ХимБиоМаш».

Для цитирования: Гаврилов С. А., Шефер Д. А., Иванов С. Г., Гурьев М. А. Сравнительные исследования эффективности отечественных модификаторов для стали 20ГЛ при литье по газифицируемым моделям // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 244–251. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.043. EDN: <https://elibrary.ru/HRUMLS>.

Original article

COMPARATIVE STUDIES OF EFFECTIVENESS DOMESTIC MODIFIERS OF 20GL STEEL OF CASTING ON GASIFIED MODELS

Sergey A. Gavrilo¹, Dmitriy A. Schafer², Sergey G. Ivanov³, Michael A. Guryev⁴

^{1, 2, 3, 4} Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

³ The Advanced Textile Technology Innovation Center (Jianhu Laboratory), Shaoxing, 312000, China

³ Hubei Digital Textile Equipment Key Laboratory, Wuhan Textile University, Wuhan, 430073, China

⁴ Zhejiang Brilliant Refrigeration Equipment Co, Ltd, Xingchang, 312500, China.

¹ gavrilo. sergei@vniizht.ru

² shefer1402@mail.ru,

³ serg225582@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5965-0249>

⁴ gurievma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9191-1787>

Abstract. The work is devoted to the urgent problem of increasing the strength of cast low-carbon and low-alloy steel 20GL due to the use of modifiers used in steel smelting. The change in mechanical properties was achieved by furnace and out-furnace treatment of the steel melt with various domestic complex modifiers and subsequent heat

© Гаврилов С. А., Шефер Д. А., Иванов С. Г., Гурьев М. А., 2025

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ МОДИФИКАТОРОВ ДЛЯ СТАЛИ 20ГЛ ПРИ ЛИТЬЕ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ

treatment according to the selected maintenance regime. The samples for comparative tests were obtained using gasified model casting (LGM) technology. The main mechanical properties were determined at normal temperature, and the values for impact bending on samples with a U-shaped incision were determined at minus 60 °C. Studies have shown a significant difference in the properties of 20GL steel, depending on the modifier used. The use of the MKksk 19 complex modifier makes it possible to increase the continuity of the casting, reduce the number and size of non-metallic inclusions, and generally obtain a uniform structure over the entire cross-section of the sample (casting). The impact strength of KCU-60 for all samples during the tests was 1.7-2.6 times higher than the values specified in GOST 977-88, GOST 21357-87 and GOST 22703-2012. However, the presence of Widmannstätt samples in the structure indicates the need to find the most optimal maintenance regime.

Keywords: steel, modification, casting according to gasified models, liquation, microstructure, mechanical properties, impact strength, negative temperature.

Acknowledgements: The research was carried out at the Center for Collective Use of AltSTU and the Laboratory of Microscopic Research of the Himbiomash Research Center.

For citation: Gavrilov, S.A., Schafer, D.A., Ivanov, S.G. & Guryev, M.A. (2025). Comparative studies of effectiveness domestic modifiers of 20GL steel of casting on gasified models. Polzunovskiy vestnik, (3), 244-243. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.043. EDN: <https://elibrary.ru/HRUMLS>.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из эффективных методов повышения свойств стали без значительного изменения химического состава являются такие процессы, как рафинирование и модифицирование расплава в процессе его приготовления и на выпуске из печи (в ковше или в форме). Печная и внепечная обработка сплавов различными модификаторами в «большой металлургии» приобрела постоянный и массовый характер. Модифицирование применяется на всех без исключения крупных металлургических производствах нашей страны для уменьшения количества неметаллических включений, измельчения зерна, повышения пластичности и прочности. При изготовлении фасонного литья использование модификаторов также приобрело широкий формат. Однако разнообразие отечественных и иностранных модификаторов дают сильное различие свойств одного и того же сплава. Немаловажную роль играет при этом применяемая технология получения отливки, способ обработки модификатором (при плавке, при выпуске расплава в ковш и т.д.) и многие другие факторы.

В случае технологии литья по газифицируемым моделям (ЛГМ) необходимо учитывать, что степень неоднородности химического состава (особенно по

углероду) на тонкостенных отливках значительно выше, чем при использовании любого другого способа получения отливки. И, конечно, этот факт нельзя не учитывать при подготовке расплава стали, его очистке, модифицировании и дальнейшей термической обработке литых изделий. В течение последних 25 лет технология ЛГМ активно внедряется в России практически на всех литейных предприятиях или в качестве основной, или как дополнительная [1–6].

В связи с высокой актуальностью в настоящей работе рассмотрено влияние широко применяемых в малой металлургии модифицирующих добавок российского производства на механические свойства и микроструктуру стали 20ГЛ при литье по газифицируемым моделям.

МЕТОДЫ

Модель заготовки для определения механических свойств изготавливалась путем вырезания из пенопласта марки ППС-17-РА (литейный) плотностью 17 кг/м³. Конструктивные параметры образцов-свидетелей, используемых в работе, изображены на рисунке 1. Все модели образцов-свидетелей были тщательно проверены на предмет отсутствия дефектов поверхности.

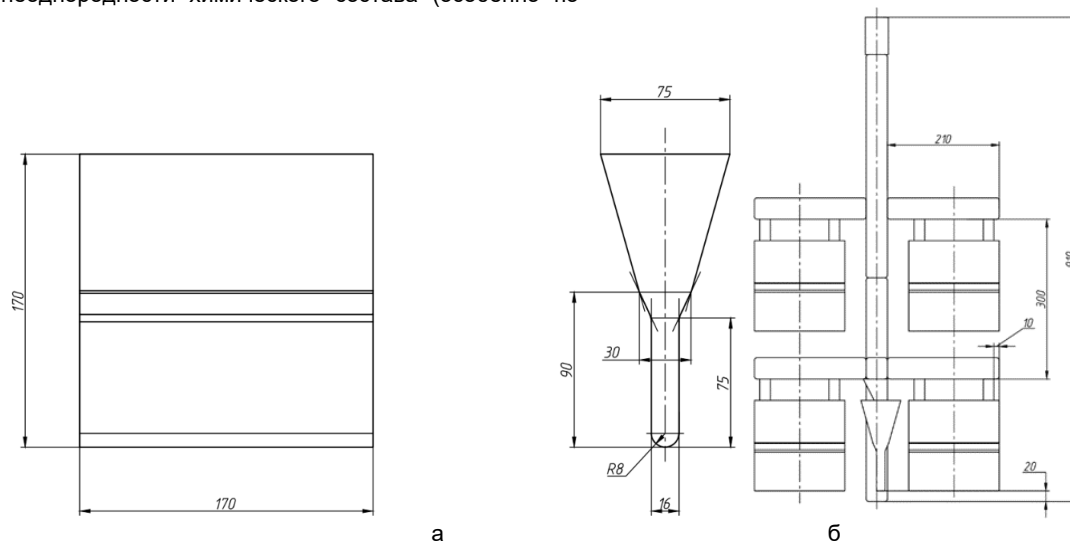


Рисунок 1 – Образец-свидетель: а – чертеж; б – схема сборки в блок

Figure 1 – Witness sample: a – drawing; b – assembly diagram in a block

Сборка моделей в блок осуществлялась пайкой. Собранные модельные блоки окрашивались огнеупорной краской «Газолит GS», которая наносилась методом обливания. Контроль вязкости и плотности

краски осуществлялся вискозиметром ВЗ-246 по ГОСТ 9070-75, средняя вязкость соответствовала 12,1 сек. Формовка просушенных модельных блоков производилась в специальные опоки-контейнеры

(1000x1000x1000 мм), оснащенные сетью вентиляционных каналов и имеющие два патрубка для вывода газов, образующихся при деструкции модели. В качестве формовочного материала использовали кварцевый песок марки 2K₂O₂03 по ГОСТ 2138-91.

В работе использовалась индукционная плавильная печь KGPS-350-1 с набивным тиглем емкостью 500 кг с нейтральной футеровкой. Химический анализ стали в цеховых условиях определялся с помощью эмиссионного спектрометра «МСА II», а окончательный химический состав на образцах определялся с помощью оптико-эмиссионного спектрометра «G.N.R. Solaris CCD Plus».

При заполнении формы расплавом использовался предварительно разогретый до 900 °С поворотный ковш емкостью 250 кг. Температура заливки контролировалась переносным прибором ТЦП – 1800П погружного типа со сменным термоэлектрическим преобразователем НСХ типа В (ПР30 /ПР6).

В качестве шихтовых материалов при выплавке стали 20ГЛ использовались: лом стали 09Г2С, отходы марок 1А, 2А по ГОСТ 2787, ферросилиций ФС75 по

ГОСТ 1415, ферромарганец ФМн88 по ГОСТ 4755. В качестве основного раскисляющего элемента применялся алюминий (электротехнический лом) в количестве 0,7 кг на плавку. С целью снижения количества общего шлака и неметаллических включений в отливках применялся коагулятор шлака марки КШП-1 как в печи, так и в ковше.

В качестве модифицирующих добавок в данной работе использовались наиболее распространенные на отечественном рынке модификаторы: 1) L-cast 5.3 ТУ 1717-005-75073896-2013 (ООО НПК «МеталлТехно-Пром», г. Иркутск), фракция от 15 до 2 мм; 2) Insteel 6.1 ТУ 0820-030-72684889-2015 (ООО НПП «Технология», г. Челябинск); 3) Insteel 6.4 ТУ 0820-107-72684889-2023 (ООО НПП «Технология», г. Челябинск); 4) МКкск 19 ТУ 0826-003-47647304-2001 (СРО «РАЛ», г. Сафоново).

Некоторые параметры заливки и обработки расплава, а также присвоенные номера для всех применяемых модификаторов указаны в таблице 1. В ходе работы выполнены 4 плавки, получены 30 образцов-свидетелей, всего 6 партий (6 способов применения) по 5 образцов-свидетелей (бруски).

Таблица 1 – Параметры заливки и способ модифицирования по плавкам

Table 1 – Filling parameters and the method of modification by melting

Номер плавки	Номер ковша	Температура, °С	Вакуум в опоке, МПа	Время заливки блока, сек	Номер образца	Особенности применения модификатора
L-cast 5.3						
1	Ковш 1	1610	0,03	30	№ 1 (5 брусков)	В конце плавки в печь на зеркало металла перед сливом в количестве 3 кг.
1	Ковш 2	1580	0,03	29	№ 2 (5 брусков)	Тоже + 1 кг в ковш
Insteel 6.4						
2	Ковш 1	1580	0,03	30	№ 3 (5 брусков)	На струю металла при сливе с печи, в ковш 1 кг (на ковш 250 кг)
МКкск19						
3	Ковш 1	1590	0,03	30	№ 4 (5 брусков)	В стояк перед заливкой из расчета 0,2 % от массы стояка
3	Ковш 2	1580	0,03	30	№ 5 (5 брусков)	
Insteel 6.1						
4	Ковш 1	1590	0,03	28	№ 6 (5 брусков)	На струю металла при сливе с печи, в ковш 1 кг (на ковш 250 кг)

В таблице 2 приведены результаты проведенного экспресс-анализа химического состава выплавляемой стали 20ГЛ по каждой плавке перед выпуском расплавленного металла в разливочный ковш. Все отливки кристаллизовались в аналогичных условиях. После кристаллизации осуществлялась выбивка отливок и их охлаждение на воздухе. После остывания отливок осу-

ществляли их отрезку от питателей, после чего отрезанные отливки подвергались термической обработке.

Термическая обработка готовых отливок проводилась в камерных печах типа СНОЛ, оборудованных ПИД-контроллерами «Термодат» по режиму: нагрев до 920 °С (выдержка 30 минут), закалка на воду, далее отпуск при 620 °С (2 часа), далее – охлаждение на спокойном воздухе.

Таблица 2 – Химический состав стали 20ГЛ до заливки в форму (экспресс-анализ)

Table 2 – Chemical composition of 20GL steel before casting (express analysis)

Элемент	Номер образца-свидетеля (номер плавки)			
	1 и 2 (1)	3 (2)	4 и 5 (3)	6(4)
	масс. %			
C	0,12	0,12	0,12	0,12
Si	0,40	0,40	0,40	0,28
Mn	1,11	1,17	1,04	1,10
P	0,013	0,018	0,016	0,023
S	0,008	0,005	0,009	0,008
Cr	0,035	0,033	0,046	0,041
Ni	0,039	0,035	0,052	0,037
Cu	-	-	-	-
Al	0,005	0,006	0,005	0,007

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ МОДИФИКАТОРОВ ДЛЯ СТАЛИ 20ГЛ ПРИ ЛИТЬЕ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ

После соответствующей ТО из каждого бруска изготавливали по пять образцов для определения основных механических свойств – пропорциональные образцы диаметром 5 мм и рабочей частью 50 мм по ГОСТ 1497-84 тип III № 7 для испытаний при комнатной температуре и образцы для определения ударной вязкости с U-образным надрезом (KCU) при температуре минус 60 °С по ГОСТ 9454-78.

Готовые образцы подвергались испытанию на растяжение с использованием универсальной разрывной машины «Instron-3369». После испытаний и проведения всех необходимых измерений от разорванных и разрушенных образцов отбирали металлографические темплеты при помощи прецизионного отрезного станка «MICRACUT-201». Для проведения металлографических исследований, все вырезанные металлографические темплеты запрессовывались в специальный компаунд «BAKELIT» при помощи металлографического пресса «METAPRESS». После запрессовки производили шлифовку и последующую полировку металлографических образцов при помощи автоматического шлифовально-полировального станка «DIGIPREP-P».

При пробоподготовке использовались набор дисков шлифовальной бумаги различной зернистостью – от 240 до 2000. В качестве смазочно-охлаждающей жидкости использовали воду. Полировку осуществляли на специализированных сушках «MET-FOKS» и «METAPO-V» с применением алмазных суспензий зернистостью 5, 3, 1 мкм. Отполированные образцы подвергались травлению в 4 % спиртовых растворах пикриновой и азотной кислот.

Металлографические исследования производили при помощи программно-аппаратного комплекса «Thixo Met-PRO», включающего в себя металлографический инвертированный оптический микроскоп

«Carl Zeiss Axio Observer Z1m [7] по методикам, приведенным в [8].

Для проведения сравнительного анализа, а также определения модифицирующего воздействия, вырезка образцов велась и из литых образцов, не подвергавшихся термической обработке. Размеры таких образцов 16х32 мм. Подготовка поверхностей к изучению велась аналогично вышеописанным образцам с разницей в том, что такие образцы не проходили запрессовку в компаунд.

ДюрOMETрические исследования проводились с использованием полуавтоматического универсального твердомера МН-6, твердомерах Бринелля ТБ 5005А Tochtline и Роквелла ТР Tochtline.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В таблице 3 приведен химический состав всех полученных плавок и образцов-свидетелей, вырезанных из соответствующих отливок. Можно отметить, что на готовых отливках количество серы не превышает 0,011 % масс. во всех приведенных случаях. Однако такой эффект по сере достигается, вероятно, не воздействием применяемых модификаторов, а чистотой применяемых изначально шихтовых материалов. Комплексные модификаторы, использованные при выплавке экспериментальных плавок, оказали положительный эффект на снижение содержания фосфора (Insteel 6.4, Insteel 6.1 и МКкск19), при этом наилучший эффект показал модификатор МКкск19 – снижение фосфора с 0,023 до 0,013 % масс относительно немодифицированных образцов. Остальные исследованные модификаторы также продемонстрировали значительное снижение содержания фосфора, однако немного уступили МКкск19 (табл. 3).

Таблица 3 – Химический анализ образцов-свидетелей / Table 3 – Chemical analysis of witness samples

Элемент	Номер образца-свидетеля (плавки)						20ГЛ ГОСТ 977-88	20ГЛ ГОСТ 21357-87
	1(1)	2(1)	3(2)	4(3)	5(3)	6(4)		
C	0,23	0,24	0,19	0,25	0,20	0,24	0,15–0,25	0,17–0,25
Si	0,40	0,42	0,50	0,52	0,48	0,42	0,2–0,4	0,3–0,5
Mn	1,05	1,06	1,09	1,02	1,012	1,07	1,2–1,4	1,1–1,4
P	0,014	0,015	0,014	0,013	0,013	0,013	до 0,04	до 0,03
S	0,011	0,011	0,010	0,011	0,011	0,011	до 0,04	до 0,03
Cr	0,070	0,065	0,063	0,068	0,068	0,064	–	до 0,3
Ni	0,024	0,024	0,019	0,032	0,032	0,020	–	до 0,3
Cu	0,047	0,047	0,038	0,095	0,096	0,104	–	до 0,3
Al	0,065	0,062	0,135	0,065	0,079	0,081	–	–
Nb	0,003	до 0,002	0,003	до 0,002	до 0,002	до 0,002	–	–
Ce	до 0,002	до 0,002	до 0,002	до 0,002	до 0,002	до 0,002	–	–
La	до 0,005	до 0,002	до 0,005	до 0,005	до 0,005	до 0,005	–	–
Mg	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	–	–

Структура всех литых образцов до их термической обработки представлена видманштеттом. Результаты испытаний по определению основных механических свойств термообработанных образцов из стали 20ГЛ представлены в таблице 4.

Одним из самых высоких показателей ударной вязкости (66 МПа) и пластичности (относительное сужение – 63 % при относительном удлинении 17 %) продемонстрировал образец № 1 (таблица 4), модифицированный модификатором L-cast 5.3. Однако с точки зрения оптимального комплекса эксплуатационных свойств наилучшие показатели демонстрирует образец № 4 (таблица 4, модификатор МКкск19), сочетая высокие показатели пределов прочности и

текучести с высокими показателями ударной вязкости и пластичности. Исходя из этого, было принято решение провести сравнительный металлографический анализ с целью выявления структурно-фазового строения и поиска путей дальнейшей оптимизации режимов термической обработки [9–11].

Структурно-фазовый анализ производили в двух взаимно перпендикулярных проекциях сечения образцов (вдоль и поперек направления кристаллизации), которые совпадали с направлением проекций образцов для проведения испытаний на ударный изгиб: направление «поперек» совпадало с поперечным сечением образца, продольное направление – соответственно с продольным.

Таблица 4 – Результаты механических испытаний после термической обработки (среднее по пяти образцам)

Table 4 – Results of mechanical tests after heat treatment (average of 5 samples)

№ образца	Предел текучести, МПа	Предел прочности, МПа	Относ-е удлинение, %	Относ-е сужение, %	Ударная вязкость KCU ₆₀ , кгс/см ² (МПа)	Твердость, HRC
1	380,2	524,7	16,6	62,7	66,12 (6,48)	17,6
2	400,9	549,8	14,3	52,7	53,74 (5,27)	14,9
3	361,4	494,5	13,7	54,0	53,42 (5,24)	17,0
4	493,0	623,5	15,5	58,5	43,42 (4,26)	18,4
5	430,9	570,3	16,6	57,4	64,30 (6,31)	19,7
6	436,4	576,7	15,1	57,2	54,02 (5,30)	19,7

Образец № 1

При изучении макроструктуры образца в продольном и поперечном направлениях выявлены одиночные неметаллические (преимущественно шлаковые) включения, преимущественно глобулярной формы. Средний диаметр включений составляет порядка 30 мкм, при минимальном диаметре около 22 мкм и максимальном диаметре – порядка 90 мкм. Плотность включений максимального диаметра (порядка 90 мкм) составляет около 1 шт/250 мм², а включений минималь-

ного диаметра (около 22 мкм) – порядка 5 шт/100 мм², следовательно, загрязненность материала образца № 1 неметаллическими включениями следует признать удовлетворительной. Газовых пор и раковин при исследовании образца № 1 выявлено не было. В совокупности все вышеперечисленное позволяет утверждать о достаточно высокой сплошности и монолитности отливки, соответствующих образцу № 1.

Структурно-фазовое состояние образца в обоих направлениях идентично и представлена на рисунке 2.

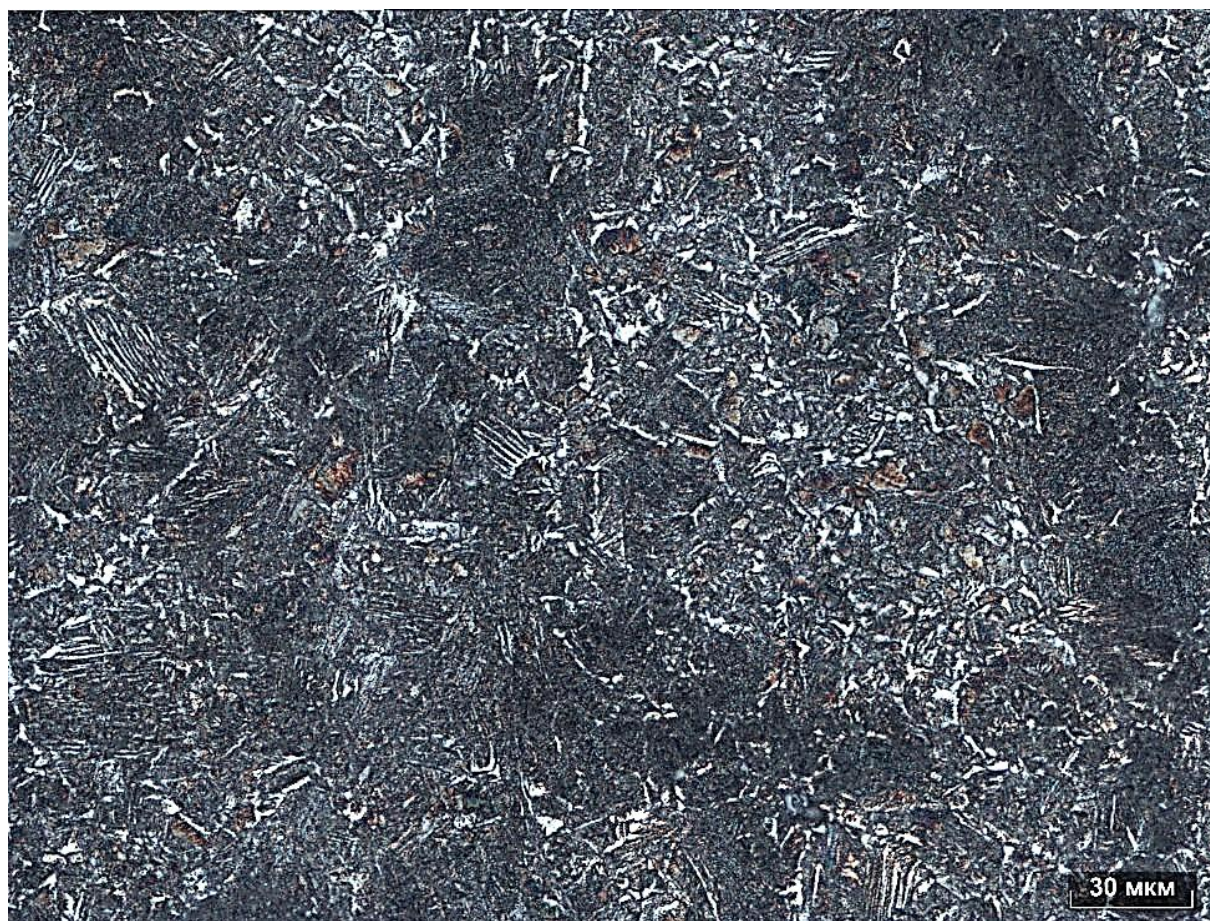


Рисунок 2 – Структура стали при оптическом увеличении x500

Figure 2 – Steel structure at optical magnification of x500

Согласно данным структурно-фазового анализа, структура образца представлена видманштеттом, соответствующим 1 баллу по ГОСТ 5640-68. При этом границы бывшего аустенитного зерна обозначены ферритной сеткой, а кроме того, заметно некоторое (порядка 15 об. %) количество игольчатого феррита, что позволяет утверждать о неоптимальных параметрах термической обработки, а именно – о перегреве,

сопряженном с длительной выдержкой при температуре аустенитизации.

По результатам анализов величины зерна после термической обработки, а также по результатам установления величины бывшего аустенитного зерна, установлено, что после термической обработки величина зерна соответствует в среднем 8 баллу, а бывшего аустенитного зерна – 3 баллу (рис. 3).

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ МОДИФИКАТОРОВ ДЛЯ СТАЛИ 20ГЛ ПРИ ЛИТЬЕ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ

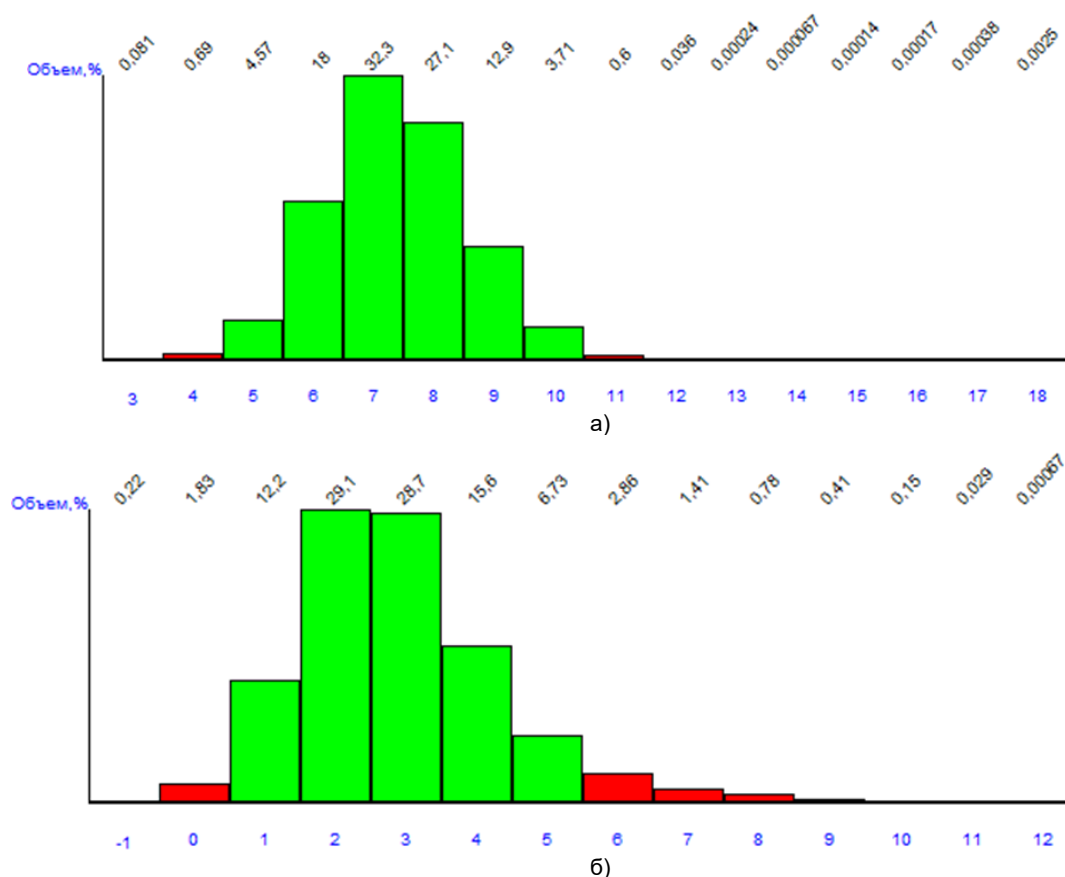


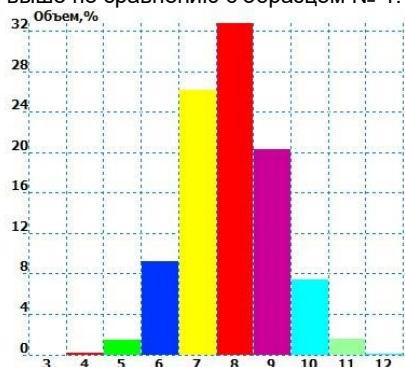
Рисунок 3 – Гистограммы распределения размеров зерна в образце № 1 после термической обработки (а) и до термической обработки (б)

Figure 3 – Histograms of grain size distribution in sample No. 1 after heat treatment (a) and before heat treatment (b)

Образец № 4

В случае образца № 4 неметаллических включений значительного диаметра и газовых пор обнаружено не было. В образце имеются шлаковые включения диаметром от 9 до 14 мкм и плотностью приблизительно 3 шт/100 мм². Исходя из этого, можно утверждать, что качество образца № 4 по загрязненности неметаллическими включениями и газовыми порами выше по сравнению с образцом № 1.

По результатам анализов величины зерна после термической обработки, а также по результатам установления величины бывшего аустенитного зерна ясно, что после термической обработки величина зерна соответствует в среднем 8 баллу, при этом коэффициент анизотропии близок к единице (рис. 4). Балл зерна бывшего аустенитного зерна соответствует 4 баллу (рис. 5).



№	Цвет	Балл	Объем, %
1.		5	1,55
2.		6	9,29
3.		7	26,2
4.		8	32,8
5.		9	20,4
6.		10	7,55
7.		11	1,67
Среднее			7,91

Рисунок 4 – Результаты анализа с цветовой дифференциацией зерен по размерам в образце № 4

Figure 4 – Results of the analysis with color differentiation of grains by size in sample No. 4

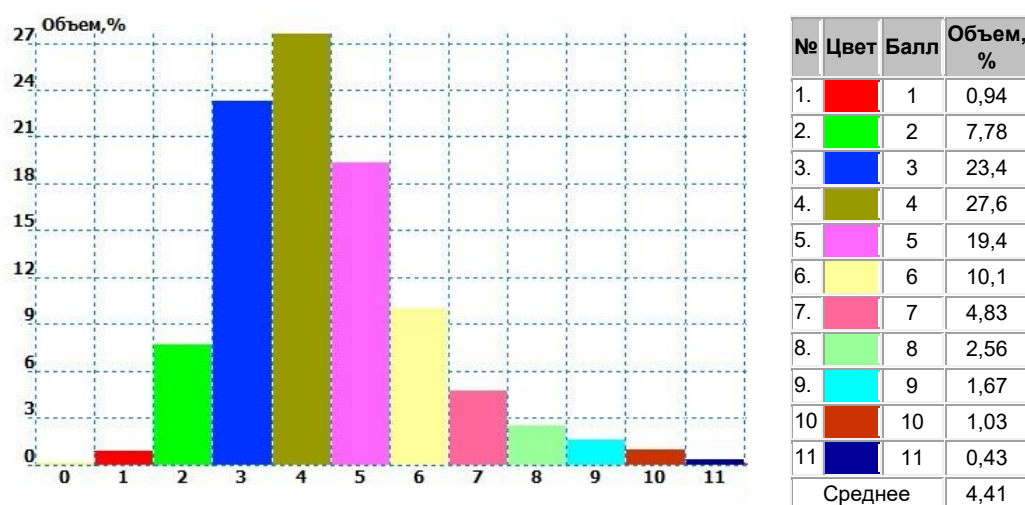


Рисунок 5 – Результаты анализа бывшего аустенитного зерна с цветовой дифференциацией зерен по размерам в образце № 4

Figure 5 – The results of the analysis of the former austenitic grain with color differentiation of grains by size in sample No. 4

Как видно из рисунка 5, образец № 4 отличается от образца № 1 также и более мелким бывшим аустенитным зерном: 4,41 против 2,91. Это позволяет утверждать, что в случае образца № 4 установлен более правильный режим модифицирования, а также то, что модификатор, использованный для образца № 4, содержал некоторое количество труднорастворимых в рас-

плавленной стали ультрамелкодисперсных соединений, которые на стадии кристаллизации выступили в качестве центров зарождения новых зерен, а затем при термической обработке снизили скорость роста аустенитного зерна. Структура стали образца № 4 при оптическом увеличении x500 представлена на рисунке 6.

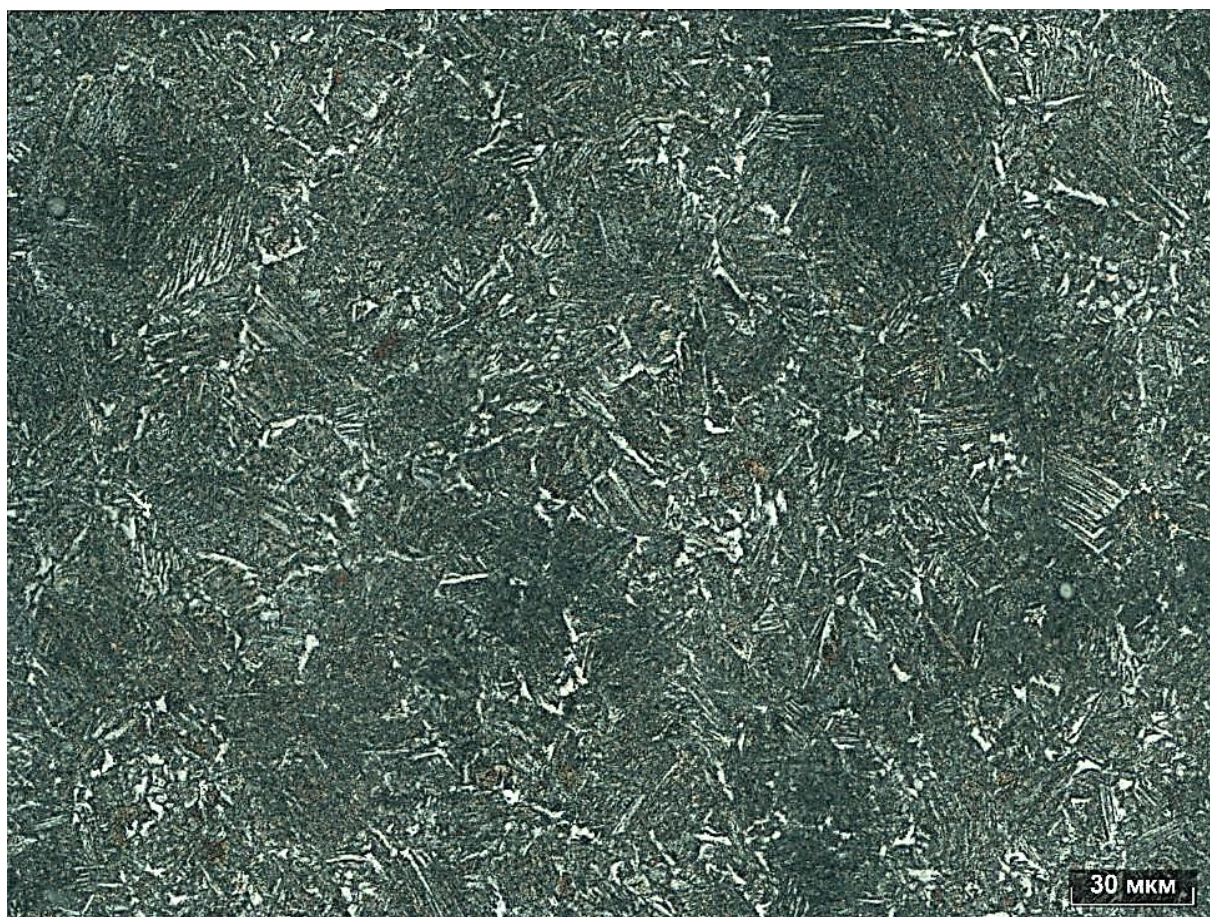


Рисунок 6 – Структура стали образца № 4 при оптическом увеличении x500

Figure 6 – Steel structure of sample No. 4 at optical magnification of x500

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ МОДИФИКАТОРОВ ДЛЯ СТАЛИ 20ГЛ ПРИ ЛИТЬЕ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Как и в образце № 1, структурно-фазовое состояние исследованного образца № 4 соответствует видманштетту. При этом согласно проведенному анализу, количество феррита в образце № 4 несколько больше по сравнению с образцом № 1, также больше и количество игольчатого феррита – по результатам автоматизированной оценки, в случае образца № 4. В остальном структуры образцов №№ 1 и 4 в целом совпадают как на продольных, так и на поперечных шлифах.

ВЫВОДЫ

1. Применение комплексных модификаторов (L-cast 5.3, Insteel 6.4, Insteel 6.1, МКкск 19) при выплавке стали 20ГЛ в индукционной тигельной печи не способствуют снижению содержания серы, однако в случае применения модификатора МКкск 19 наблюдается наибольшее снижение фосфора по сравнению с немодифицированной сталью 20ГЛ: с 0,023 до 0,013 % масс.

2. Применение комплексного модификатора МКкск 19 позволяет повысить сплошность отливки, снизить количество и средний размер неметаллических включений.

3. Выбранный режим ТО для всех образцов позволяет обеспечить показатели механических свойств в соответствии с требованиями стандартов (ГОСТ 977-88, ГОСТ 21357-87 и ГОСТ 22703-2012), а по такому показателю, как КСЧ₆₀, превысить минимальные требуемые значения в 1,7–2,6 раза, что позволяет говорить о повышении надежности и работоспособности отливок в условиях пониженных температур.

4. Наличие в структуре образцов видманштетта (игольчатого феррита) говорит о необходимости поиска более оптимального режима ТО, а именно точного определения температуры и времени выдержки перед закалкой, при соблюдении которых удастся избежать видманштетта, что, в свою очередь, позволит в еще большей степени повысить эксплуатационные характеристики отливок из стали 20ГЛ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Особенности структуры тонких образцов из стали 20ГЛ, полученных литьем по газифицируемым моделям / А.Е. Ерболатов [и др.] // Ползуновский вестник. 2022. № 2. С. 139–144. doi: 10.25712/ ASTU.2072-8921.2022.02.019. EDN: <https://elibrary.ru/lbskmm>.
2. Шуляк В.С. Литье по газифицируемым моделям. СПб. : НПО «Профессионал», 2007. 408 с. ISBN 978-5-91259-011-5.
3. Упрочнение деталей агропромышленного оборудования, применяемых в климатических условиях Монголии / Лыгденов Б.Д., Фильчаков Д.С., Галаа О., Жавхалан Б. // Успехи современного естествознания. 2015. № 1–8. С. 1345–1347.
4. Механизмы структурообразования при взаимодействии титана с расплавом алюминия / Гуревич Л.М. // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2013. № 6 (109). С. 6–13.
5. О повышении качества отливок, полученных литьем по газифицируемым моделям / Чуманов И.В., Порсев М.А. // Литейное производство. 2017. № 3. С. 19–22.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 19 ноября 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 19 Nov 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.

6. Литье по газифицируемым моделям износостойких деталей / Кузембаев С.Б., Есжанов Г.С., Нурмаганбетов Ж.О., Акинов Е.К. // В сб. : Борисовские чтения. Материалы III Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Отв. за выпуск Е.С. Воеводина. Красноярск, 2021. С. 234–238.

7. Иванов С.Г., Гурьев А.М., Земляков С.А., Гурьев М.А., Романенко В.В. Особенности методики подготовки образцов для автоматического анализа карбидной фазы стали Х12Ф1 после цементации в вакууме с применением программного комплекса "Thixomet PRO" // Ползуновский вестник. 2020. № 2. С. 165–168.

8. Иванов С.Г., Гурьев М.А., Гурьев А.М., Романенко В.В. Фазовый анализ боридных комплексных диффузионных слоев на углеродистых сталях при помощи цветного травления // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2020. Т. 17. № 1. С. 74–77.

9. Гурьев А.М., Хараев Ю.П. Теория и практика получения литого инструмента. Барнаул, ООО «НИЦ «Системы управления», 2005. 221 с.

10. Особенности формирования структуры диффузионного слоя на литой стали при химико-термической обработке / Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Махаров Д.М., Мосоров В.И., Черных Е.В., Гурьева О.А., Иванов С.Г. // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2005. Т. 2. № 1. С. 39–41.

11. Упрочнение литых деталей поверхностным легированием / Гурьев М.А., Иванов С.Г., Гурьев А.М. // Сборник научных трудов X международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития литейного, сварочного и кузнечно-штамповочного производств». Барнаул, 2009. С. 40–46.

Информация об авторах

С. А. Гаврилов – аспирант АлтГТУ.

Д. А. Шефер – магистрант кафедры «Технологии машиностроения», АлтГТУ.

С. Г. Иванов – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Научного управления АлтГТУ, ведущий научный сотрудник.

М. А. Гурьев – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии машиностроения» АлтГТУ, технический директор Zhejiang Brilliant Refrigeration Equipment Co. Ltd.

Information about the authors

S.A. Gavrilov - graduate student, of the Polzunov Altai State Technical University.

D.A. Shefer - master student of the Department «Mechanical Engineering Technology» of the Polzunov Altai State Technical University.

S.G. Ivanov - Doctor of Technical Sciences, a leading researcher at the Scientific Department of Polzunov Altai State Technical University, a leading researcher at The Advanced Textile Technology Innovation Center (Jianhu Laboratory), Hubei Digital Textile Equipment Key Laboratory.

M.A. Guryev - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering Technologies at Polzunov Altai State Technical University, Technical Director of Zhejiang Brilliant Refrigeration Equipment Co. Ltd.



Научная статья

2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)
УДК 534-8

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.044



ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ БАРБОТАЖНОГО ПУЗЫРЬКА В ХОДЕ ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ АЭРАЦИИ ПРИ РАЗНЫХ ВЯЗКОСТЯХ ЖИДКОЙ ФАЗЫ

Александр Романович Барсуков¹, Роман Николаевич Голых²,
Карра Жан-Бастьен³, Иван Александрович Маняхин⁴

^{1,2,4} Бийский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», Бийск, Россия

³ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия

¹ barsukov.ar@bti.secna.ru

² grn@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7708-0665>

³ jb.carrat@gmail.com

⁴ maniakhin.ia@bti.secna.ru

Аннотация. В статье рассматривается зависимость возмущений межфазной поверхности барботажного пузырька в ходе принудительной аэрации под воздействием ультразвука. Исследование сосредоточено на оценке влияния ультразвуковых колебаний на динамику пузырьков, а также на характеристиках их поверхности. Получены экспериментальные данные с помощью разработанного стенда для фотофиксации барботажных пузырьков высокоскоростной камерой. Полученные данные были обработаны и проанализированы, основываясь на распределении яркости изображений, для определения относительного увеличения межфазной поверхности. Выявлена предельная вязкость, при которой ультразвуковые колебания оказывают значительное влияние на поверхностные возмущения, что открывает новые перспективы для оптимизации процессов, связанных с газоразтворением в жидкостях. Полученные результаты могут найти применение при разработке эффективных методов обработки высоковязких жидкостей с использованием ультразвуковых колебаний.

Ключевые слова: ультразвук, кавитационные явления, межфазная поверхность, барботаж, массообменные процессы.

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-12-00278, <https://rscf.ru/project/23-12-00278/>.

Для цитирования: Барсуков А. Р., Голых Р. Н., Карра Жан-Бастьен, Маняхин И. А. Влияние ультразвуковых колебаний на формирование поверхностных возмущений барботажного пузырька в ходе принудительной аэрации при разных вязкостях жидкой фазы // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 252–256. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.044. EDN: <https://elibrary.ru/KXSJZL>.

Original article

INFLUENCE OF ULTRASONIC OSCILLATIONS ON FORMATION OF AERATION BUBBLE SURFACE DISTURBANCES DURING FORCED AERATION AT DIFFERENT VISCOSITIES OF LIQUID PHASE

Aleksandr R. Barsukov¹, Roman N. Golykh², Jean-Bastien Carrat³,
Ivan A. Maniakhin⁴

^{1,2,4} Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University, Biysk, Russia

³ Lavrentyev Institute of Hydrodynamics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

¹ barsukov.ar@bti.secna.ru

² grn@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7708-0665>

³ jb.carrat@gmail.com

⁴ maniakhin.ia@bti.secna.ru

Abstract. The article considers the dependence of aeration bubble surface disturbances during forced aeration under the influence of ultrasonic. Experimental data were obtained using a developed stand for photographic recording of bubbling bubbles with a high-speed camera. The study is focused on assessing the effect of ultrasonic oscillations on

© Барсуков А. Р., Голых Р. Н., Карра Жан-Бастьен, Маняхин И. А., 2025

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ БАРБОТАЖНОГО ПУЗЫРЬКА В ХОДЕ ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ АЭРАЦИИ ПРИ РАЗНЫХ ВЯЗКОСТЯХ ЖИДКОЙ ФАЗЫ

the dynamics of bubbles, as well as on the characteristics of their surface. The limiting viscosity at which ultrasonic oscillations have a significant effect on surface disturbances was revealed, which opens up new prospects for optimizing processes associated with gas dissolution in liquids. The obtained results can be used in developing effective methods for processing highly viscous liquids using ultrasonic oscillations.

Keywords: *ultrasonic, cavitation phenomena, interphase surface, bubbling, mass transfer processes.*

Acknowledgements: *The study was supported by the Russian Science Foundation Grant No. 23-12-00278, <https://rscf.ru/project/23-12-00278/>.*

For citation: Barsukov, A.R., Golykh, R.N., Carrat, J.-B. & Maniakhin, I.A. (2025). Influence of ultrasonic oscillations on the formation of aeration bubble surface disturbances during forced aeration at different viscosities of the liquid phase. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 252-256. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.044. EDN: <https://elibrary.ru/KXSJZL>.

ВВЕДЕНИЕ

При реализации различных химико-технологических процессов существует значительная угроза, связанная с накоплением опасных и вредных газов, что приводит к катастрофическим последствиям, таким как взрывы, пожары и выбросы токсичных веществ в окружающую среду. Газы с высокой реакционной способностью или в больших концентрациях создают опасные условия в закрытых или слабо вентилируемых помещениях. Это особенно актуально на производственных объектах, где используются такие газы, как водород, метан, аммиак, сероводород и другие легковоспламеняющиеся или токсичные соединения. Нарушение целостности оборудования или возникновения искры может вызвать детонацию, что подчеркивает важность контроля концентрации этих газов в воздухе (в особенности в закрытых помещениях). Обеспечение эффективного поглощения подобных газов имеет ключевое значение для предотвращения аварийных ситуаций. Такие технологии, как адсорбция, абсорбция, каталитическое окисление и фильтрация, в настоящее время являются важной частью инженерных решений для защиты промышленных объектов. В частности, растворение газов в жидкой фазе играет значительную роль в процессе поглощения опасных и вредных газов, поскольку это является в настоящее время основным механизмом, обеспечивающим удаление газовых примесей из воздуха или других газовых сред [1].

Растворение газа в жидкости представляет собой процесс диффузии, который происходит гораздо медленнее по сравнению с растворением газа в газе или жидкости в жидкости. Традиционный физический принцип растворения, основанный на аэрации жидкости через барботажный процесс, оказывается недостаточным эффективным из-за крайне низкого коэффициента диффузии газа в жидкость по сравнению с диффузией газа в газе. Дробление же газовых пузырьков приводит к увеличению межфазной поверхности и способствует увеличению общей скорости диффузии газа в жидкости, а также ускоряет физико-химические процессы в приповерхностном слое на границе «газ-жидкость». Чтобы достичь скорости диффузии газа в жидкости, сопоставимой с диффузией газа, в газе необходимо дробить пузырьки до мельчайших размеров [2].

На сегодняшний день существующие устройства и установки для поглощения опасных и вредных газов показывают недостаточную эффективность ввиду наличия остаточных концентраций газов в обрабатываемом объеме. Один из перспективных способов повышения эффективности очистных устройств – использование ультразвука (УЗ) [3–9]. Так, для повышения эффективности поглощения CO_2 и других газовых примесей в абсорбционных установках могут применяться УЗ колебания, которые способны увеличить межфазную поверхность раздела «газ-жидкость», что,

в свою очередь, повышает скорость поглощения, пропорциональную межфазной поверхности.

Увеличение межфазной поверхности является основным способом эффективного поглощения газов жидкой фазой. Это связано с тем, что большая межфазная поверхность способствует повышению скорости обмена веществ между газом и жидкостью, что ускоряет процесс диффузии газов в жидкость и, следовательно, увеличивает эффективность поглощения. При увеличении межфазной поверхности также улучшается массоперенос, позволяя большему количеству газа перейти в жидкую фазу за единицу времени. Эффективное увеличение межфазной поверхности позволит минимизировать концентрацию токсичных и взрывоопасных газов. Важно также отметить, что вязкость жидкой фазы при исследовании влияния ультразвуковых колебаний на размер межфазной поверхности влияет на динамику движения и поведения газовых пузырьков в ней, что, в свою очередь, сказывается на эффективности поглощения газов. При низкой вязкости жидкости пузырьки газа могут легче перемещаться и образовывать большие межфазные поверхности. Однако при повышении вязкости сопротивление движению кавитационных пузырьков увеличивается, что может привести к их более медленному схлопыванию и, как следствие, снижению возмущений барботажного пузырька.

Таким образом, цель данного исследования – выявить влияние вязкости обрабатываемой среды на формирование поверхностных возмущений барботажного пузырька, а также её предельное значение, при достижении которого влияние ультразвуковых колебаний на формирование поверхностных возмущений барботажного пузырька в ходе кавитационных процессов значительно снижается и, как следствие, прекращается рост межфазной поверхности.

МЕТОДЫ

Для выявления предельной вязкости, при которой происходит увеличение межфазной поверхности в ходе воздействия ультразвука на барботажный пузырёк, была сконструирована специализированная установка [10], которая позволяет создать область аэрации с активным процессом кавитации в зоне фокуса высокоскоростной камеры (рис. 1).

Установка состоит из следующих компонентов: высокоскоростная камера Photron FASTCAM SA-Z (1), позволяющая проводить съёмку с высокой частотой кадров, что необходимо для отслеживания протекания таких быстротекущих динамических процессов, как кавитация. В верхней части установки располагается резервуар (2), в который подается воздух через трубку (4), соединенную с аэратором (6), размещенным на креплении (5). Аэратор, находясь в верхнем резервуаре, отвечает за насыщение жидкости газом и создание барботажных пузырьков.

Для точного позиционирования аэратора и гид-

рофона используется рама с направляющими (3), обеспечивающая необходимую стабильность установки. В нижней части системы находится резервуар (10), отделённый от верхнего резервуара перегородкой (11).

Для обеспечения хорошей видимости в экспериментальной зоне установлен источник постоянного и равномерного освещения (8), что позволяет камере фиксировать проходящий процесс с высокой четкостью. Вся система находится на основании (9), которое обеспечивает устойчивость установки во время проведения экспериментов.

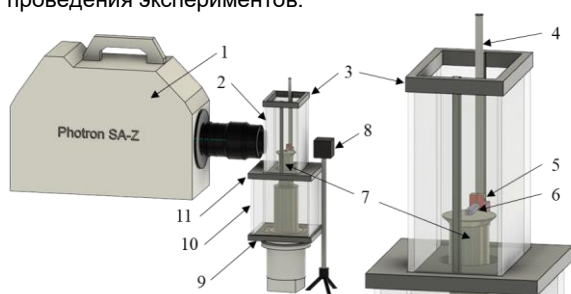


Рисунок 1 – Экспериментальная установка для фиксации барботажных пузырьков

Figure 1 – Experimental installation for fixing bubbling bubbles

Ключевым компонентом описанной выше установки является ультразвуковая колебательная система (УЗКС) (7), которая генерирует акустические колебания высокой интенсивности в жидкости, что способствует возникновению кавитации и дроблению пузырьков газа.

Верхняя часть объема имеет уменьшенные поперечные размеры, что позволяет создать область кавитации одновременно с аэрацией в фокусной зоне высокоскоростной камеры. Перед каждым экспери-

ментом объем заполняется жидкостью. Аэрация осуществляется через канал диаметром 1,5 мм, расположенный в аэрационной насадке, который во время эксперимента размещается вблизи излучающей поверхности. При этом канал находится в центре излучающей поверхности, обеспечивая совпадение оси симметрии канала с осью симметрии ультразвуковой колебательной системы.

РЕЗУЛЬТАТЫ

С использованием вышеописанной установки были зафиксированы следующие изображения барботажных пузырьков, полученные в средах, представляющих собой растворы воды с различной долей содержания глицерина в них (рис. 2).

На полученных изображениях можно заметить снижение поверхностных возмущений барботажного пузырька при концентрации глицерина, равной 50 %. Далее изображения, зафиксированные высокоскоростной камерой, были обработаны для получения сведений о межфазной поверхности. На рисунке 3 представлено схематичное изображение постановки обратной задачи геометрической оптики для определения межфазной поверхности по распределению яркости изображения. На рисунке 3, а представлено прохождение света через барботажный пузырёк без деформаций, на рисунке 3, б представлено прохождение света через барботажный пузырёк с деформациями.

Была разработана модель для определения профиля межфазной поверхности по изображению. Данная модель учитывает рассеяние света. Для ускорения расчёта профиля межфазной поверхности проведено сопоставление данных о профиле на основании яркости и на основании протяжённости контура [10]. Между этими данными осуществлена полиномиальная интерполяция, которая использовалась для обработки изображений.



Рисунок 2 – Поверхностные возмущения барботажного пузырька при различной концентрации глицерина: а) глицерин – 0 %; б) глицерин – 10 %; в) глицерин – 37,5 %; г) глицерин – 50 %; д) глицерин – 60 %; е) глицерин – 80 %

Figure 2 – Surface perturbations of the bubbling bubble at different concentrations of glycerol: а) glycerol – 0 %; б) glycerol – 10 %; в) glycerol – 37.5 %; д) glycerin – 50 %; е) glycerin – 60 %; ф) glycerin – 80 %

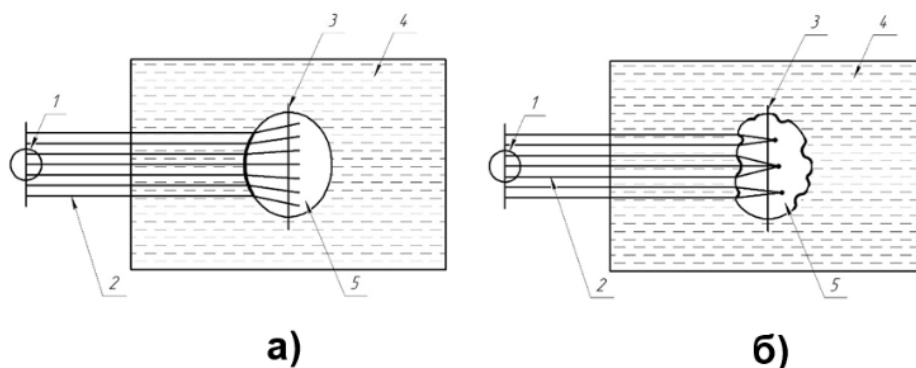


Рисунок 3 – Схематичное изображение поведения лучей света при прохождении через фокальную плоскость

Figure 3 – Is a schematic representation of the behavior of light rays passing through the focal plane

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ БАРБОТАЖНОГО ПУЗЫРЬКА В ХОДЕ ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ АЭРАЦИИ ПРИ РАЗНЫХ ВЯЗКОСТЯХ ЖИДКОЙ ФАЗЫ

На основе полученных экспериментальных данных и обработанных изображений выявлена зависимость (рисунок 4) относительного увеличения межфазной поверхности от динамической вязкости растворов глицерина разной концентрации для каждой из серий экспериментов, представленных на рисунке 2.

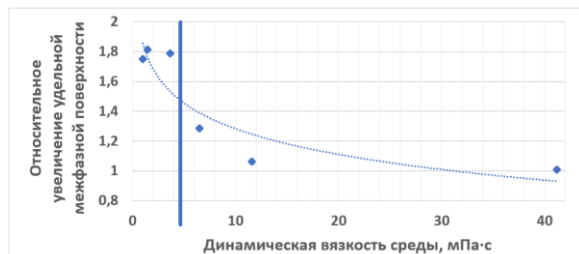


Рисунок 4 – Зависимость относительного увеличения межфазной поверхности от динамической вязкости среды

Figure 4 – Dependence of the relative increase in the interfacial surface on the dynamic viscosity of the medium

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, установлено, что образование возмущений на границе фаз, вызванное дроблением части пузырьков, способствует появлению поверхностных волн, которые приводят к увеличению площади межфазной поверхности. При этом в зоне развитой кавитации увеличение площади поверхности не наблюдается – происходит только ускорение диффузии. Определена предельная вязкость – ~6 мПа·с, при которой межфазная поверхность возрастает, если аэрационный канал располагается на небольшом расстоянии от ультразвукового излучателя. Ввиду низкого значения предельной вязкости предлагаются следующие направления для дальнейшего повышения эффективности массообмена в системах газ-жидкость. Во-первых, выбор оптимальных режимов формирования зоны частичной кавитации, когда большинство пузырьков стабильно сохраняются. Во-вторых, предварительное снижение вязкости для высокомолекулярных жидкостей путём установки второго ультразвукового излучателя напротив аэрационного канала. Наконец, предлагается провести аналогичные исследования при повышенных температурах и определить оптимальную температуру, так как на рост межфазной поверхности влияют два взаимоисключающих фактора. С одной стороны, с увеличением температуры вязкость среды снижается, но с другой – при температуре выше ~50 °C наблюдается спад амплитуды ударных волн, что ведёт к снижению энергии схлопывания кавитационных пузырьков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кобяков К., Титова С., Шматов Н., Коротков В., Казаков Р. Оценка возможностей для увеличения поглощения парниковых газов лесами на территории центра Европейской России // Устойчивое лесопользование. 2019. Т. 1. № 57. С. 4–20.
2. Madygulov M.Sh., Vlasov V.A. Dissolution of gas in a stationary liquid layer: A diffusion-kinetic model and experimental studies // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2024. Vol. 227. PP. 125562. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2024.125562.
3. Liu Y., Sajjadi B., Chen W.-Y., Chatterjee R. Ultrasound-assisted amine functionalized graphene oxide

for enhanced CO₂ adsorption // Fuel. 2019. Vol. 247. PP. 10–18. doi: 10.1016/j.fuel.2019.03.011.

4. Liu X.-y., Ou H., Gregersen H. Ultrasound-assisted supercritical CO₂ extraction of cucurbitacin E from Iberis amara seeds // Industrial Crops and Products. 2020. Vol. 145. PP. 112093. doi: 10.1016/j.indcrop.2020.112093.
5. Arpa Ç., Arıdaşır I. Ultrasound assisted ion pair based surfactant-enhanced liquid-liquid microextraction with solidification of floating organic drop combined with flame atomic absorption spectrometry for preconcentration and determination of nickel and cobalt ions in vegetable and herb samples // Food Chemistry. 2019. Vol. 284. PP. 16–22. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.01.092.
6. Hoo D.Y., Low Z.L., Low D.Y.S., Tang S.Y., Manickam S., Tan K.W., Ban Z.H. Ultrasonic cavitation: An effective cleaner and greener intensification technology in the extraction and surface modification of nanocellulose // Ultrasonics Sonochemistry. 2022. Vol. 90. PP. 106176. doi: 10.1016/j.ultsonch.2022.106176.
7. Yuan S., Li C., Zhang Y., Yu H., Xie Y., Guo Y., Yao W. Ultrasound as an emerging technology for the elimination of chemical contaminants in food: A review // Trends in Food Science & Technology. 2021. Vol. 109. PP. 374–385. doi: 10.1016/j.tifs.2021.01.048.
8. Liang Y., Yang L., Liu S., Xu R., Jiang W., Wu P. Study on the process intensification of superhydrophobic materials to improve CO₂ mass transfer efficiency // Chemical Engineering and Processing - Process Intensification. 2023. Vol. 183. PP. 109213. doi: 10.1016/j.ccep.2022.109213.
9. Orhan O.Y., Keles Y., Yavuz Ersan H., Alper E. Ultrasound-assisted desorption of CO₂ from carbon dioxide binding organic liquids // Energy Procedia. 2017. Vol. 114. PP. 66–71. doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.1148.
10. Голых Р.Н., Карра Ж.Б., Хмелёв В.Н., Маняхин И.А., Минаков В.Д., Генне Д.В., Барсуков А.Р. Влияние ультразвукового кавитационного воздействия на межфазную поверхность "газ-жидкость" при принудительной аэрации // Прикладная механика и техническая физика. 2024. ONLINEFIRST. doi: 10.15372/PMTF202315435.

Информация об авторах

А. Р. Барсуков – старший преподаватель кафедры «Методов и средств измерений и автоматизации» Бийского технологического института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».

Р. Н. Голых – доктор технических наук, профессор кафедры «Методов и средств измерений и автоматизации» Бийского технологического института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».

Ж. Б. Карра – Ph.D., гражданин Французской Республики, научный сотрудник Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН.

И. А. Маняхин – преподаватель кафедры «Методов и средств измерений и автоматизации» Бийского технологического института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».

REFERENCES

1. Kobayakov, K., Titova, S., Shmatkov, N., Korotkov, V. & Kazakov, R. (2019). Assessment of opportunities to increase greenhouse gas absorption by forests in the central part of European Russia. *Sustainable Forestry*, 1 (57), 4-20. (In Russ.).
2. Madygulov, M.Sh. & Vlasov, V.A. (2024). Dissolution of gas in a stationary liquid layer: A diffusion-kinetic model and experimental studies. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 227, 125562. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2024.125562.
3. Liu, Y., Sajjadi, B., Chen, W.-Y. & Chatterjee, R. (2019). Ultrasound-assisted amine functionalized graphene oxide for enhanced CO₂ adsorption. *Fuel*, 247, 10-18. doi: 10.1016/j.fuel.2019.03.011.
4. Liu, X.-y., Ou, H. & Gregersen, H. (2020). Ultrasound-assisted supercritical CO₂ extraction of cucurbitacin E from Iberis amara seeds. *Industrial Crops and Products*, 145, 112093. doi: 10.1016/j.indcrop.2020.112093.
5. Arpa, Ç. & Ardaşır, I. (2019). Ultrasound assisted ion pair based surfactant-enhanced liquid-liquid microextraction with solidification of floating organic drop combined with flame atomic absorption spectrometry for preconcentration and determination of nickel and cobalt ions in vegetable and herb samples. *Food Chemistry*, 284, 16-22. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.01.092.
6. Hoo, D.Y., Low, Z.L., Low, D.Y.S., Tang, S.Y., Manickam, S., Tan, K.W. & Ban, Z.H. (2022). Ultrasonic cavitation: An effective cleaner and greener intensification technology in the extraction and surface modification of nanocellulose. *Ultrasonics Sonochemistry*, 90, 106176. doi: 10.1016/j.ultsonch.2022.106176.
7. Yuan, S., Li, C., Zhang, Y., Yu, H., Xie, Y., Guo, Y. & Yao, W. (2021). Ultrasound as an emerging technology for the elimination of chemical contaminants in food: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 109, 374-385. doi: 10.1016/j.tifs.2021.01.048.
8. Liang, Y., Yang, L., Liu, S., Xu, R., Jiang, W. & Wu, P. (2023). Study on the process intensification of superaerophobic materials to improve CO₂ mass transfer efficiency. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 183, 109213. doi: 10.1016/j.cep.2022.109213.
9. Orhan, O.Y., Keles, Y., Yavuz Ersan, H. & Alper, E. (2017). Ultrasound-assisted desorption of CO₂ from carbon dioxide binding organic liquids. *Energy Procedia*, 114, 66-71. doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.1148.
10. Golykh, R.N., Carrat, J.B., Khmelev, V.N., Maniakhin, I.A., Minakov, V.D., Genne, D.V. & Barsukov, A.R. (2024). Influence of ultrasonic cavitation on the gas-liquid interfacial surface during forced aeration. *Applied Mechanics and Technical Physics*, ONLINE FIRST. doi: 10.15372/PMTF202315435.

Information about the authors

A.R. Barsukov - Senior Lecturer of the Department of «Methods and instruments of measurement and automation» of the Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University.

R.N. Golykh - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of «Methods and instruments of measurement and automation» of the Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University.

J.B. Carrat - citizen of the French Republic, Research Fellow of the Lavrentyev Institute of Hydrodynamics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.

I.A. Maniakhin - Lecturer of the Department of «Methods and instruments of measurement and automation» of the Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 19 ноября 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 19 Nov 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.



Научная статья

2.6.11 – Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (технические науки)
УДК 678.074

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.045



СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ КАМЕР В АО «ПО «АЛТАЙСКИЙ ШИННЫЙ КОМБИНАТ»

Данил Дементьевич Ефрюшин ¹, Афонина Наталья Владимировна ²,
Радченко Роман Николаевич ³

¹ Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул, Россия

^{2, 3} АО «ПО «Алтайский шинный комбинат», г. Барнаул, Россия

^{1, 2, 3} dsibh@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается актуальная проблема повышения эффективности и качества производства пневматических камер для крупногабаритных шин на предприятии АО «ПО «Алтайский шинный комбинат». Проведен анализ существующего технологического процесса с использованием червячного пресса горячего питания МЧТ-400, выявлены его ключевые недостатки: загрязненность резиновой смеси, нестабильная толщина стенки заготовки и низкая дисперсия компонентов, что приводит к повышенному браку и перерасходу сырья. В качестве решения предложена модернизация производства путем замены экструдера на машину холодного питания МЧХ-250. Обоснованы технологические преимущества данного перехода, включая улучшение однородности смеси, стабилизацию геометрических параметров заготовки и снижение количества посторонних включений. Приведен расчет экономической эффективности, показывающий, что внедрение нового оборудования позволит снизить массу каждой камеры в среднем на 1,75 кг и достичь годовой экономии в размере 24,68 млн рублей при сроке окупаемости проекта 8 месяцев. Делается вывод о том, что модернизация способствует значительному повышению конкурентоспособности продукции за счет снижения материалоемкости и улучшения качества готовых изделий.

Ключевые слова: технология переработки резин, экструзия, червячный пресс холодного питания, пневматические камеры, крупногабаритные шины, материалоемкость, экономическая эффективность, качество продукции, МЧХ-250, МЧТ-400.

Для цитирования: Ефрюшин Д. Д., Афонина Н. В., Радченко Р. Н. Совершенствование технологического процесса производства автомобильных камер в АО «ПО «Алтайский шинный комбинат» // Ползуновский вестник. 2025. № 3, С. 257–261. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.045. EDN: <https://elibrary.ru/CBAECU>.

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF CAR TUBES PRODUCTION AT AO “INDUSTRIAL GROUP “ALTAYSKIY SHINNY KOMBINAT”

Danil D. Efryushin ¹, Natalia V. Afonina ², Roman N. Radchenko ³

¹ Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

^{2, 3} AO “Industrial Group “Altayskiy Shinny Kombinat”, Barnaul, Russia

^{1, 2, 3} dsibh@mail.ru

Abstract. The paper addresses the current problem of increasing the efficiency and quality of pneumatic tubes production for large-size tires at AO “Industrial Group “Altayskiy Shinny Kombinat”. The analysis of the existing technological process using a hot-feed screw press MChT-400 identified its key disadvantages: contamination of the rubber mixture, unstable wall thickness of the workpiece and low dispersion of components, which leads to increased defects and excess consumption of raw materials. As a solution, the researcher proposes a modernization of production by replacing the extruder with a cold feed machine MChKh-250. The technological advantages of this transition are substantiated, including improved homogeneity of the mixture, stabilization of the geometric parameters of the workpiece and a decrease in the number of foreign inclusions. The calculation of economic efficiency is given, showing that the introduction of new equipment will reduce the weight of each chamber by an average of 1.75 kg and achieve annual savings of 24.68 million rubles with a project payback period of 8 months. In conclusion, the modernization contributes to a significant increase in the competitiveness of products due to a decrease in material consumption and an improvement in the quality of finished products.

Keywords: rubber processing technology, extrusion, cold-feed worm press, pneumatic tubes, large-size tires, material consumption, economic efficiency, product quality, MChKh-250, MChT-400

© Ефрюшин Д. Д., Афонина Н. В., Радченко Р. Н., 2025

For citation: Efryushin, D.D., Afonina, N.V. & Radchenko, R.N. (2025). Improvement of technological process of car tubes production at AO "Industrial Group "Altayskiy Shinnyy Kombinat". Polzunovskiy vestnik, (3), 257-261. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.03.045. EDN: <https://elibrary.ru/CBAECU>.

ВВЕДЕНИЕ

Пневматические камеры являются неотъемлемой частью конструкции различных видов шин, применяемых в разнообразной технике. С каждым годом динамика развития шинного производства значительно возрастает, что требует обеспечения высокого качества выпускаемой продукции.

Автомобильные камеры выполняют важную функцию в пневматической шине, обеспечивая герметичность и прочность конструкции. Недостаточное растяжение камеры при поддуве может привести к утонению стенок и образованию складок, что негативно сказывается на надежности и долговечности изделия. Поэтому оптимальные габариты камерной заготовки играют ключевую роль в производственном процессе.

Производство камер осуществляется путем шприцевания резиновой смеси на червячном прессе, после чего сформированный рукав нарезается на заготовки необходимой длины, на которые устанавливаются вентили. Заготовки проходят этапы стыковки концов, формования на шаблонах и вулканизации в индивидуальных вулканизаторах. Готовые камеры подвергаются проверке на герметичность и качество, после чего направляются в цех комплектации для дальнейшего использования в шинной продукции [1].

Шприцевание – метод, не заменимый в современной шинной промышленности. Контроль параметров процесса, таких как температура, давление и скорость подачи, обеспечивает высокое качество продукции и стабильность технологического процесса.

Таким образом, шприцевание резиновой смеси на червячном прессе горячего питания представляет собой эффективный и надежный способ формирования резиновых заготовок с заданными геометрическими и физико-механическими свойствами [2–4].

Для повышения производительности труда на производстве важно применять современные технологические решения и оптимизировать технологические процессы:

1. Использование червячного пресса холодного питания для шприцевания резиновой смеси обеспечивает более стабильное качество и однородность изделий. Это достигается за счет более щадящего режима нагрева, что снижает вероятность брака и повышает качество продукции. Такой подход позволяет поддерживать постоянство скорости продвижения и давления шприцуемой смеси, что критично для получения изделий с высокими эксплуатационными характеристиками.

2. Внедрение современных технологий изготовления пневматических камер и тщательный контроль качества на всех этапах производства способствует повышению эксплуатационных характеристик шин и безопасности техники. Это снижает количество дефектов и увеличивает срок службы продукции, что напрямую влияет на производительность труда за счет уменьшения затрат времени на переделки и рекламации.

3. Правильный выбор системы питания экструдера позволяет повысить качество готовых изделий, снизить уровень брака и улучшить эксплуатационные свойства продукции. Это способствует более эффективному использованию оборудования и снижению

потерь сырья, что увеличивает общую производительность производства.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Ездовая камера представляет собой тонкостенную резиновую полую трубку круглой или эллипсной формы, служащей для удержания необходимого давления воздуха в шине.

Основные размеры камеры – наружный и внутренний диаметры и диаметр трубки зависят от размеров шины, типа шины и размеров обода. Толщина стенки камер для крупногабаритных шин (КГШ) обычно составляет 3–5 мм.

Профиль камеры обычно делают несколько меньше внутреннего профиля покрышки для облегчения монтажа и предотвращения защемления стенки камеры бортами покрышки. Периметр сечения камеры в ненадутом состоянии на 10 % меньше периметра в надутом состоянии внутри шины.

При эксплуатации камера испытывает постоянное натяжение, что усложняет ее условия работы. Так как при наполнении воздухом камеры, помещенной в покрышку, беговая часть ее растягивается и бандажная часть сжимается, то толщина камеры по беговой части обычно делается на 1 мм больше по сравнению с бандажом.

К камерам для крупногабаритных шин предъявляют следующие требования:

1. Воздухонепроницаемость.
2. Эластичность и минимальная разнашиваемость.
3. Прочность.
4. Стойкость к атмосферным условиям, морозостойкость и теплостойкость;
5. Равномерность растяжения под действием сжатого воздуха [2].

Составной частью камеры является вентиль, позволяющий накачивать камеру воздухом, регулировать внутреннее давление, герметизировать камеру и выпускать воздух из нее [1–4].

Классический технологический процесс производства камер для крупногабаритных шин включает следующие стадии:

- 1) подготовку компонентов резиновой смеси;
- 2) изготовление резиновых смесей;
- 3) разогрев резиновой смеси на питательных вальцах;
- 4) изготовление камерного рукава;
- 5) стыковку;
- 6) вулканизацию камеры [5, 6].

Текущий технологический процесс, используемый на АО «ПО «Алтайский шинный комбинат», подразумевает использование системы горячего питания с применением экструдера МЧТ-400. При горячем питании резиновая смесь предварительно нагревается перед подачей в червячный пресс, что способствует более равномерному и быстрому разогреву материала в процессе экструзии. Это улучшает пластичность смеси, облегчает формование и снижает внутренние напряжения в изделии, что положительно сказывается на однородности структуры и физических свойствах готовых заготовок. Однако чрезмерный нагрев может привести к преждевременной вулканизации или ухудшению некоторых характеристик резины,

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ КАМЕР В АО «ПО «АЛТАЙСКИЙ ШИННЫЙ КОМБИНАТ»

поэтому температурный режим должен строго контролироваться.

Основными недостатками действующей технологии являются:

1. Загрязнённость резиновой смеси, наличие посторонних включений приводит к появлению брака готовой продукции, в том числе окончательному. Это негативно сказывается на конкурентоспособности продукции, снижая её качество и увеличивая затраты на переработку или утилизацию дефектных изделий.

2. Нестабильная толщина стенки автокамерной (а/к) заготовки, что напрямую влияет на перерасход резиновой смеси. В результате экономический эффект от производства камерных заготовок снижается, так как расход сырья значительно превышает нормативные показатели. Это ведёт к увеличению массы готовой автокамерной заготовки и комплекта шины, что негативно отражается на себестоимости продукции и её эксплуатационных характеристиках.

3. Низкая дисперсия компонентов вулканизирующей группы в резиновой смеси, что ухудшает качество самой смеси, снижая её однородность и, как следствие, эксплуатационные свойства готовых изделий. Это также может привести к снижению долговечности и надёжности готовой камеры.

Таким образом, устранение указанных недостатков является ключевым направлением для повышения качества продукции, снижения производственных затрат и укрепления позиций на рынке.

На основании анализа текущего состояния оборудования и выявленных недостатков действующей технологии можно предложить следующие решения:

1. Для снижения загрязнённости резиновой смеси необходимо улучшить систему фильтрации и очистки сырья перед подачей в экструдер. Замена экструдера МЧТ-400 на более современный МЧХ-250 позволит обеспечить более стабильный и контролируемый процесс шприцевания, что снизит вероятность попадания посторонних включений в смесь.

2. Экструдер МЧТ-400 не обеспечивает необходимого уровня стабильности технологического процесса, что приводит к колебаниям толщины стенок заготовок. Использование экструдера МЧХ-250 с улучшенными техническими характеристиками позволит добиться более равномерной и стабильной толщины стенок автокамерных заготовок. Это, в свою очередь, снизит материалоемкость изделий и уменьшит производственные потери, позволит увеличить производительность.

3. Для повышения дисперсии компонентов вулканизирующей группы рекомендуется оптимизировать параметры работы экструдера, такие как температуру, скорость шнека и давление. Экструдер МЧХ-250 благодаря своей конструкции и современным техническим решениям обеспечивает более равномерное смешивание и распределение компонентов, что улучшит качество вулканизации и конечных свойств резиновой смеси.

На основании выявленных проблем с качеством продукции и отсутствием перспектив снижения материалоемкости при использовании экструдера МЧТ-400, целесообразно заменить его на экструдер МЧХ-250. Это позволит улучшить качество резиновой смеси за счёт снижения загрязнённости и повышения дисперсии компонентов вулканизирующей группы, обеспечить стабильную и равномерную толщину стенок автокамерных заготовок, снизить материалоемкость изделий и уменьшить производственные потери.

Внедрение экструдера МЧХ-250 станет эффективным шагом к модернизации технологического процесса и повышению качества выпускаемой продукции. Обновленный технологический процесс включает в себя следующие стадии:

- 1) подготовку компонентов резиновой смеси;
- 2) изготовление резиновых смесей;
- 3) изготовление камерного рукава;
- 4) стыковку;
- 5) вулканизацию камеры.

Внедрение предложенных современных технологических решений на производстве резиновых изделий и пневматических камер оказывает комплексное положительное влияние на все ключевые аспекты производственного процесса и конечного качества продукции:

1. Повышение качества продукции и снижение брака: настройка технологических параметров (температуры вулканизации, времени прессования, состава резиновой смеси) позволяет получать изделия с более однородной структурой и улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Использование дополнительной фильтрующей сетки эффективно предотвращает попадание посторонних включений в резиновую массу, что значительно снижает количество дефектов и повышает надежность автокамер.

2. Оптимизация использования оборудования и сырья: снижение толщины стенки заготовок приводит к уменьшению расхода резинового сырья на каждую автокамеру, что снижает материалоемкость производства и себестоимость изделий.

Автоматизация и модернизация оборудования позволяют повысить точность дозирования и смешивания компонентов, минимизирует отходы и перерасход материалов.

Рациональное планирование производственных циклов и внедрение систем мониторинга сокращают время простоя оборудования и увеличивают его загрузку.

3. Снижение трудозатрат и увеличение выпуска продукции: внедрение автоматизированных линий и современных прессов сокращает ручной труд, снижая утомляемость и вероятность ошибок оператора.

4. Увеличение конкурентоспособности и устойчивое развитие предприятия: снижение себестоимости продукции за счет оптимизации расхода сырья и повышения производительности труда позволяет предлагать конкурентные цены на рынке.

Улучшение качества и надежности изделий формирует положительную репутацию бренда, что привлекает новых клиентов и удерживает существующих.

Экологическая эффективность производства (меньше отходов, рациональное использование ресурсов) способствует устойчивому развитию и соответствует современным требованиям рынка и законодательства.

Комплексный подход, сочетающий технические инновации и организационные меры, является ключом к повышению производительности труда и конкурентоспособности современного производства резиновых изделий и пневматических камер. Внедрение таких решений позволяет не только улучшить качество и снизить издержки, но и обеспечить устойчивое развитие предприятия в долгосрочной перспективе.

Внедрение данного решения позволит снизить объем брака, уменьшить материальные потери на производстве [7]. Расчет экономической эффективности внедрения МЧХ-250 представлен в таблице 1.

Таблица 8 – Расчет экономической эффективности внедрения МЧХ-250

Table 8 – Calculation of the economic efficiency of the implementation of the MCH-250

№ п/п	Размер	Толщина по ККТ, мм		Масса по ККТ, кг	Масса после снижения, кг	Годовой бизнес-план, шт	Затраты на производство камер до снижения, тыс. руб.	Затраты на производство камер после снижения, тыс. руб.	Изменение затрат на производство камер от внедрения МЧХ-250, тыс. руб.
1	18,4-24	6,00	3,80	12,72	11,45	4761	9175,43	8257,89	917,54
2	1300*530-533	7,30	5,20	14,90	13,41	1316	2970,87	2673,78	297,09
3	1200*500-508	6,80	4,00	10,26	9,23	6451	10028,03	9025,23	1002,80
4	16,00-20	8,00	4,50	12,65	11,39	87	166,74	150,07	16,67
5	21,3-24	6,20	4,10	13,24	11,92	17070	34242,29	30818,06	3424,22
6	16,00-24	4,80	3,10	9,77	8,79	6088	9011,78	8110,60	901,18
7	16,9-28/18,4-26/16,9-24	5,20	3,80	9,92	8,93	1019	1531,53	1378,38	153,15
8	17,5-25	4,20	3,40	8,74	7,87	8884	11764,17	10587,75	1176,41
9	20,5-25	6,20	3,80	13,92	12,53	4013	8463,49	7617,14	846,35
10	18,00-25	6,20	4,10	14,30	12,87	3136	6794,43	6114,99	679,44
11	23,5-25	6,70	3,90	17,25	15,53	5067	13242,84	11918,56	1324,28
12	26,5-25	5,00	4,00	16,15	14,54	0	0,00	0,00	0,00
13	28,1-25	9,40	6,00	28,63	25,77	2468	10705,52	9634,97	1070,55
14	23,1-26	6,70	3,90	16,80	15,12	6144	15638,74	14074,87	1563,87
15	28,1-26	9,00	4,70	25,22	22,70	11024	42123,61	37911,25	4212,36
16	30,5L-32	7,50	5,50	29,58	26,62	10151	45493,39	40944,05	4549,34
17	18,4-34	5,50	3,70	13,06	11,75	1272	2516,93	2265,23	251,69
18	16,9-38	5,20	3,60	14,02	12,62	4008	8513,67	7 662,31	851,37
19	710/70-38(620/70-42)	6,30	4,30	27,58	24,82	3382	14132,18	12718,96	1413,22
20	600/55-26,5	6,20	5,30	18,10	16,29	72	197,45	177,70	19,74
21	750/55-26,5	6,30	5,30	22,53	20,28	0	0,00	0,00	0,00
22	710-42	6,30	5,00	34,73	31,26	14	73,67	66,30	7,37
23	Итого			384,07	345,66	96427	24678,79	222108,11	24678,68

Стоимость 1 кг резиновой смеси 5БР-12-21 составляет 151,51 рублей. В среднем масса каждой камеры после внедрения новой технологии снижается на 1,75 кг. До внедрения мероприятия материальные затраты на выпуск заготовок составляли 246 786 790,78 рублей в год, после внедрения они сократились до 222 108 111,70 рублей в год. Таким образом, экономический эффект от реализации решения составляет 24 678 679,08 рублей в год. Это подтверждает высокую эффективность предложенных мер и их положительное влияние на производственные показатели и финансовые результаты предприятия.

Стоимость приобретения машины холодного питания порядка 14 000 000 руб.; стоимость монтажа оборудования – 500 000 руб.

Срок окупаемости 8 месяцев.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы была проведена комплексная оценка технологических особенностей и преимуществ перехода с червячных машин теплового типа на червячные машины холодного питания в производстве камер для крупногабаритных шин. Установлено, что червячные машины холодного питания обеспечивают более интенсивную обработку резиновых смесей, что способствует улучшению качества готовой продукции и повышению производительности производства.

Использование экструдера холодного питания с более современными техническими характеристиками обеспечило улучшение качества продукции за счет более стабильного и контролируемого процесса шприцевания.

Это позволило повысить надежность и однородность выпускаемых камер, что является важным фактором для конкурентоспособности продукции на рынке.

Оптимизация технологического процесса за счет внедрения червячных машин холодного питания позволяет снизить энергозатраты и повысить степень механизации и автоматизации производства, что ведет к уменьшению времени цикла и снижению издержек. Кроме того, применение червячных машин холодного питания способствует улучшению гомогенизации резиновых смесей и уменьшению риска дефектов, что особенно важно для обеспечения высокого качества камер для крупногабаритных шин.

Внедрение камерного агрегата холодного питания МЧХ-250 представляется перспективным решением, позволяющим повысить качество продукции, снизить материалоемкость и оптимизировать производственные процессы.

Снижение материалоемкости автомобильных камер способствует:

- 1) существенному сокращению производственных затрат за счет уменьшения расхода материалов, что напрямую снижает себестоимость продукции;
- 2) повышению рентабельности и прибыли предприятия благодаря экономии на сырье и материалах;
- 3) уменьшению отходов и брака, что дополнительно снижает затраты, повышает качество продукции и увеличивает производительность труда;
- 4) оптимизации использования материально-технической базы и ресурсов, что способствует более

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ КАМЕР В АО «ПО «АЛТАЙСКИЙ ШИННЫЙ КОМБИНАТ»

эффективной работе предприятия и снижению затрат на ремонт и обслуживание;

5) возможности повышения конкурентоспособности продукции за счет снижения отпускной цены при сохранении качества;

6) сокращению финансовых рисков и улучшению финансового состояния предприятия.

В результате перехода на червячные машины холдного питания достигается повышение стабильности технологического процесса, улучшение эксплуатационных характеристик изделий и снижение экологической нагрузки за счет более герметичной и чистой работы оборудования.

В результате реализуемого проекта предполагается обеспечить выпуск камерных заготовок с уменьшенной толщиной стенки. Дополнительная очистка резиновой смеси фильтрующей сеткой во время шприцевания заготовок поможет снизить количество посторонних включений и заваров резиновой смеси. За счет снижения материалоемкости камерных заготовок произойдет снижения материальных затрат на производство автокамер.

Таким образом, снижение материалоемкости является важным фактором повышения экономической эффективности производства автомобильных камер, обеспечивая значительную экономию и улучшение качества продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1.Аверко-Антонович Ю.О. Технология резиновых изделий / Ю.О. Аверко-Антонович, Р.Я Омельченко, Н.А. Охотин ; под ред. П.А. Кирпичникова. Ленинград : Химия, 1991. 352 с.
- 2.Андрашков Б.И. Машины и аппараты резиновых производств / Б.И. Андрашков, Л.М. Антонов, Д.М. Барсков. Москва : Химия, 1973. 456 с.
- 3.Любартович С.А. Изготовление резиновых профилей / С.А. Любартович. Ленинград : Химия, 1987. 112 с.
4. Кошелев Ф.Ф., Корнев А.Е., Буканов А.М. Общая технология резины / Ф.Ф. Кошелев, А.Е. Корнев, А.М. Буканов. Москва : Химия, 1978. 528 с.
5. Технологическая инструкция для машиниста агрегата на базе МЧТ-400 автокамерного цеха АО ПО "Алтайский шинный комбинат".

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

Статья поступила в редакцию 19 ноября 2024; одобрена после рецензирования 24 июня 2025; принята к публикации 10 июля 2025.

The article was received by the editorial board on 19 Nov 2024; approved after editing on 24 June 2025; accepted for publication on 10 July 2025.

6.Осошник И.А. Технология пневматических шин : учеб. пособие / И.А. Осошник, О.В. Карманова, Ю.Ф. Шутилин. Воронеж : Воронежская государственная технологическая академия, 2004. 507 с.

7.Карта конструкторская технологическая. Барнаул, АО ПО "Алтайский шинный комбинат", 2025. 6 с.

Информация об авторах

Д. Д. Ефрюшин – к.х.н., доцент кафедры «Химическая технология» АлтГТУ;

Н. В. Афонина – ведущий инженер-конструктор АО «ПО «Алтайский шинный комбинат»;

Р. Н. Радченко – главный конструктор АО «ПО «Алтайский шинный комбинат».

REFERENCES

1. Averkko-Antonovich, Yu.O., Omelchenko, R.Ya., Okhotin, N.A. (1991). Technology of Rubber Products. Ed. by P.A. Kirpichnikov. Leningrad: Khimiya, 352 p.
2. Andrashkov, B.I., Antonov, L.M., Barskov, D.M. (1973). Machines and Apparatuses of Rubber Production. Moscow : Khimiya, 456 p.
3. Lyubartovich, S.A. (1987). Manufacture of Rubber Profiles. Leningrad: Khimiya, 112 p.
4. Koshelev, F.F., Kornev, A.E., Bukanov, A.M. (1978). General Rubber Technology. Moscow : Khimiya, 528 p.
5. Technological Instruction for the Machine Operator of the Unit Based on MChT-400 of the Auto-Curing Shop of JSC PO "Altai Shiny Kombinat".
6. Ososhnik, I.A. Karmanova, O.V. Shutilin, Yu.F. (2004). Technology of Pneumatic Tires: Textbook / I.A. Ososhnik. Voronezh : Voronezh State Technological Academy, 2004. 507 p.
7. Technological Design Chart. Barnaul. (2025). JSC PO "Altai Shiny Kombinat", 2025. 6 p.

Information about the authors

D.D. Efryushin - Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor of the Department of "Chemical Technology", Polzunov Altai State Technical University;

N.V. Afonina - Lead Design Engineer, AO "Industrial Group "Altai Shiny Kombinat";

R.N. Radchenko - Chief Designer, AO "Industrial Group "Altai Shiny Kombinat".

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Аёшина Е. Н.	141	Люхо И. А.	212
Андрюшков А. А.	170	Магомедов Г. О.	136
Антонникова А. А.	189	Мамадалиев Р. А.	154
Арзамасова Е. В.	55	Маняхин И. А.	252
Афоница Н. В.	257	Марков А. С.	24
Бабич О. О.	31	Михайлова О. Ю.	118
Барсуков А. Р.	252	Михно А. Р.	149
Беляева О. В.	185	Морозов С. В.	229
Блягос А. И.	105	Мосоров В. И.	240
Блягос Р. Х.	105	Мусина О. Н.	98
Богус М. К.	105	Назаров А. Ю.	234
Бондаренко Н. И.	98	Нестеренко А. А.	7
Бородихин С. А.	218	Нецкина О. В.	199
Бородкина А. С.	136	Никитин И. А.	55
Валеева А. Р.	175	Никифоров А. Г.	224
Валиев В. С.	181	Озерова А. М.	199
Василишин М. С.	189	Орловцева О. А.	55
Васильев А. П.	193	Осипов И. А.	224
Величко Н. А.	141	Охлопкова А. А.	193
Воронина М. С.	124	Панченко И. А.	149, 234
Востриков В. В.	7	Перепада М. В.	163
Габдрахманова Г. Н.	181	Пермякова Л. В.	24
Гаврилов С. А.	244	Перов С. С.	149
Гладышев А. И.	163	Першакова Т. В.	129
Гнездилова А. И.	39	Поляев А. В.	205
Голых Р. Н.	252	Пономарёв И. А.	218
Гора Н. В.	185	Пономарева А. А.	159
Горбачев В. В.	55	Поповских Е. Г.	159
Гуляева А. Н.	124	Проценко А. Е.	212
Гунина Ю. С.	118	Радченко Р. Н.	257
Гуринович Г. В.	185	Ратников С. А.	170
Гурьев М. А.	244	Рандэ А.С.	145
Гусаков Г. С.	50	Резниченко И. Ю.	19
Данилаев М. П.	205	Рябоконева Л. А.	24
Данилова Н. А.	199	Рядинская А. А.	85
Демиденко Г. А.	45	Семиряжко Е. С.	129
Долженко А. Я.	79	Сеничев В. Ю.	163
Донченко Т. А.	19	Сергеева И. Ю.	24
Дробышев В. К.	234	Сизов И. Г.	240
Ерёменко Е. П.	85	Симагина В. И.	199
Еремин Е. Н.	218	Синельников А. В.	72
Ерышканов С. В.	163	Скороспелова Е. В.	118
Ефреюшин Д. Д.	257	Снегирева А. В.	145
Жиркова Е. В.	61	Стрельников В. Н.	163
Жумаканова Я. М.	229	Супрун Н. П.	50
Зверева Д. А.	31	Сухих С. А.	31
Иванов О. С.	189	Сухоруков Д. В.	170
Иванов С. Г.	244	Сысуев Е. Б.	31
Калачев С. Л.	61	Терёхина А. В.	111
Калузина З. И.	72	Тефилова С. Н.	55
Каменская Е. П.	13	Типсина Н. Н.	45
Карандашов С. А.	205	Титов С. С.	189
Карпов А. Г.	189	Тихонов С. Л.	31
Карра Ж.-Б.	252	Тихонова Н. В.	31
Киреева М. С.	92	Токарев П. И.	61
Клоконос М. В.	55	Троско Е. С.	118
Кожемякин Д. С.	13	Трухина Е. В.	92
Колобов С. В.	61	Тунакова Ю. А.	181, 205
Комова О. В.	199	Тягуцева А. А.	129
Коновалов С. В.	149, 234	Уланова Р. В.	72
Коробков К. С.	240	Усатюк Д. А.	98
Королев А. А.	72	Ушканов А. А.	193
Кох Ж. А.	67	Файзуллин К. В.	205
Крюков Р. Е.	149	Федченко Д. А.	67
Кузьмин Н.	218	Харитоновна Е. А.	92
Куклин В. А.	205	Хатко З. Н.	105
Куликов Д. С.	72	Худякова И. П.	159
Купин Г. А.	129	Чернышёв Д. А.	185
Лабунский Д. Н.	234	Чуев С. А.	85
Лазарева Н. Н.	193	Шефер Д. А.	244
Лебедев А. Д.	61	Шохалов В. А.	39
Лобосова Л. А.	136	Шохалова В. Н.	39
Лосев А. С.	218	Щукина Н. В.	141
Лукьянов Н. Д.	50	Ярошева В. Н.	111

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 A4, 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 подрисовочной 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 29.09.2025. Формат 60×84 1/8. Печать цифровая.

Усл. п. л. 31,02 Тираж 100 экз. Заказ 2025 – 29.

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