



ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК

ISSN 2072-8921

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

№ 2

2024

Ползуновский ВЕСТНИК

ISSN 2072-8921

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

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

Периодичность – 4 номера в год

№ 2 2024 г.

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

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

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

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

ОТВЕТСТВЕННЫЙ ЗА ВЫПУСК

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

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР

Проскура Николай Анатольевич,
редактор АлтГТУ (г. Барнаул)

УЧРЕДИТЕЛИ

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

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

ИНДЕКС: 73664 (Урал-Пресс)

АДРЕС РЕДАКЦИИ И ИЗДАТЕЛЯ

656038, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина 46, Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова (АлтГТУ), тел. (3852) 29-09-46, e-mail: polz_journal@mail.ru, Стопорева Т. А.
Сайт журнала: <https://ojs.altstu.ru/index.php/PolzVest>
Дата выхода в свет 10.07.2024 г.
Цена 800 рублей.



Polzunovskiy VESTNIK

ISSN 2072-8921

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

Publication frequency: quarterly

№ 2 2024

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 Iliyasaov, Doctor of Chemical Sciences, IPCET SB RAS, Biysk, Russia
Aleksey Blaznov, Doctor of Technical Sciences, IPCET SB RAS, Biysk, Russia
Evgeny Petrov, Doctor of Technical Sciences, BTI, Biysk, Russia
Vladislav Deev, Doctor of Technical Sciences, NUST MISIS, Moscow, Russia
Vladimir Bataev, Doctor of Technical Sciences, NSTU, Novosibirsk, Russia
Sergei Konovalov, Doctor of Technical Sciences, Siberian state Industrial University, Novokuznetsk, Russia
Mikhail Shchetinin, Doctor of Technical Sciences, MSUFP, Moscow, Russia
Maya Tamova, Doctor of Technical Sciences, KubSTU, Krasnodar, Russia
Vladimir Popov, Doctor of Technical Sciences, TIU, Tyumen, Russia
Elena Egorova, Doctor of Technical Sciences, ASTU, Barnaul, Russia
Aleksandr Mayorov, Doctor of Technical Sciences, FASCA, Barnaul, Russia
Sergei Novoselov, Doctor of Technical Sciences, ASTU, Barnaul, Russia
Vadim Konshin, Doctor of Technical Sciences, ASTU, Barnaul, Russia
Aleksandr Romanov, Doctor of Technical Sciences, professor, LLC "Baltisky Bakery House",
Kaliningrad, Russia
Igor Altukhov, Doctor of Technical Sciences, Associate professor, IrSAU, Irkutsk, Russia
Galina Gurinovich, Doctor of Technical Sciences, professor, KemSU, Kemerovo, Russia
Elena Ananieva, Candidate of Technical Sciences, Associate professor, ASTU, Barnaul, Russia

ISSUE MANAGER

Tatiana Stoporeva

Candidate of Technical Sciences, ASTU,
Barnaul, Russia

TECHNICAL EDITOR

Nikolay Proskura

Editor, ASTU, Barnaul, Russia

FOUNDERS

POLZUNOV ALTAI STATE TECHNICAL UNIVERSITY (ASTU)

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

PUBLISHER

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

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

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

Signed for printing 10.07.2024



СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

- А. М. Карапетян, Н. А. Величко*
Применение новых ингредиентов в рецептуре пате-мусса7
- О. В. Чугунова, А. В. Вяткин, В. М. Тиунов, Е. М. Чеботок, А. В. Арисов*
Исследование антиоксидантного комплекса интродуцированных сортов черной смородины Свердловской области.....12
- Н. С. Санжаровская, Н. В. Сокол*
Целесообразность использования экстракта из плодов хеномелеса в технологии пшеничного хлеба19
- Ю. В. Апянцева, И. И. Борисова, Д. А. Бараненко*
Обзор технологий выделения белка из нута27
- М. С. Ашихмина, В. Ф. Краснова, О. Ю. Орлова, С. А. Уласевич, Е. В. Скорб*
Разработка технологии лиофилизации и оптимизация криопротекторов для улучшения совместного культивирования бактерий *Vacillus Coagulans* и *Streptococcus Thermophilus*37
- С. П. Меренкова, Д. И. Девяткин*
Перспективы применения компонентов семян масличных культур в технологии хлеба46
- Е. А. Гуз, Н. Ю. Чеснокова, А. А. Кузнецова, Н. М. Портнов*
Изучение возможности использования папоротника орляка обыкновенного (*Pteridium Aquilinum*) в технологии бисквитов для школьного питания52
- Е. Н. Демина, А. П. Симоненкова, А. О. Соловьева*
Способ сохранения качества мясного сырья при приготовлении концентратов обеденных блюд быстрого приготовления66
- А. Л. Новокшанова, Е. М. Щетинина, А. С. Булялова*
Исследование возможности применения функциональных пищевых ингредиентов в составе молочных продуктов для употребления при метаболическом синдроме73
- Р. А. Журавлев, Е. Г. Дунец, Т. А. Джум, М. Ю. Тамова*
Технология производства и контроль качества мусса на основе пюре фейхоа и пахты.....79
- М. А. Вайтанис, З. Р. Ходырева*
Перспективы расширения ассортимента взбитых овощных блюд89
- В. Я. Черных, М. Н. Костюченко, Х. А. Балуюн, Д. О. Сметанин, Р. Х. Кандроков*
Снижение скорости черствения хлебобулочных изделий из пшеничной муки... 96
- Е. С. Семиряжко, Т. В. Першакова, Е. А. Иванова, С. М. Горлов*
Оптимизация дозировок виноградных выжимок при производстве кондитерских изделий 107
- О. Н. Мусина, Д. А. Усатюк, Н. И. Бондаренко*
Комбинированное подкисление в технологии сыров типа «Чеддер» 113
- Д. А. Кох, Ж. А. Кох*
Пектинсодержащий порошок из замороженных выжимок мелкоплодных яблок в производстве зернового хлеба 118
- В. Н. Гетманец*
Целесообразность производства сыра с использованием пахты 124
- И. В. Лозовский, С. А. Халабурдина, Т. В. Орлова*
Разработка мучных восточных сладостей земелах и кихелах повышенной пищевой ценности..... 130
- С. С. Кузьмина, Л. А. Козубаева*
Рецептурно-технологические решения при производстве безглютеновых хлебобулочных изделий..... 140
- А. С. Захарова, С. И. Конева*
Изучение качественных характеристик многокомпонентных смесей для галет . 148
- В. В. Кондратенко, Е. Ю. Агаркова*
Взаимосвязь молекулярных характеристик пектинов и их основных технологических свойств 155
- Г. Е. Жумалиева, Г. С. Актокалова, Р. Касымбек*
Разработка технологии мучных кондитерских изделий с применением отечественной муки из зерна тритикале..... 164
- М. С. Урбах, Ю. Г. Стурова*
Оптимизация процесса сквашивания при производстве кисломолочных продуктов 175

РАЗДЕЛ 2. ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАУКИ О МАТЕРИАЛАХ, МЕТАЛЛУРГИЯ

<i>В. И. Мосоров, Н. Б. Хаптахеева, К. С. Коробков</i> Применение нейронных сетей в металлографии	182
<i>Я. Н. Будникова, А. Е. Проценко, А. Н. Проценко</i> Исследование новых каталитических систем отверждения эпоксивинилэфирных связующих	186
<i>В. Н. Хмелёв, А. В. Шалунов, М. К. Кошелева, И. А. Маняхин, С. А. Терентьев, В. А. Нестеров, Н. А. Азаров</i> Интенсификация процесса сушки ваты при помощи ультразвука	193
<i>О. Б. Кудряшова, А. В. Шалунов, С. С. Титов, Р. С. Доровских</i> Механизмы вторичного ультразвукового распыления жидкости	200
<i>Б. П. Куликов, Н. В. Васюнина, И. В. Дубова, А. С. Самойло, Р. О. Баланев, А. И. Безруких, Ю. В. Байковский, Н. С. Домбровский</i> Усовершенствование технологии синтеза искусственного флюорита и раствора каустической соды из отходов и промпродуктов алюминиевого производства	208
<i>В. Н. Хмелёв, Р. Н. Голых, С. Н. Цыганок, Д. С. Абраменко, А. Р. Барсуков, В. Д. Минаков</i> Эффект воздействия кавитационной области с границей раздела фаз и его влияние на процессы газорастворения: исследование и анализ	217
<i>Р. Н. Голых, В. Д. Минаков</i> Теоретические исследования влияния кривизны сферической поверхности на искажение капиллярных волн, образуемых под действием кавитации	223
<i>Р. Е. Крюков, А. Р. Михно, С. В. Коновалов, И. А. Панченко, И. А. Махнев</i> Исследование сплава, полученного методом дуговой наплавки высокоэнтропийной порошковой проволокой	228
<i>Г. А. Кошкин, Ч. Г. Пак, В. В. Кикот, А. Е. Розен</i> О влиянии термообработки на характеристики композитов системы «цирконат-титанат свинца – фос-фатное связующее»	235
<i>Е. А. Бурькин</i> Оптимизация процесса переработки резинотехнических отходов	243
<i>В. К. Дробышев, И. А. Панченко, С. В. Коновалов</i> Механические свойства и микроструктура сплавов системы CoCrFeMnNi	249
<i>Н. Н. Минакова</i> Сравнительная оценка вклада эластомера в формирование теплофизических характеристик резистивных композиционных материалов по микрофотографиям структуры	255
АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ	260

CONTENTS

SECTION 1. FOOD TECHNOLOGY

- A. M. Karapetian, N. A. Velichko*
Application of new ingredients in pate musse recipe.....7
- O. V. Chugunova, A. V. Vyatkin, V. M. Tiunov, E. M. Chebotok, A. V. Arisov*
Investigation of the antioxidant complex of introduced varieties of black currantsverdlovsk region12
- N. S. Sanzharovskaya, N. V. Sokol*
Expediency of using an extract from fruits of henomeles in technology of wheat bread.....19
- Yu. V. Apyantseva, I. I. Borisova, D. A. Baranenko*
Review of chickpea isolation technologies.....27
- M. S. Ashikhmina, V.F. Krasnova, O. Yu. Orlova, S. A. Ulasevich, E. V. Skorb*
Development of lyophilization technology and optimization of cryoprotectants to improve co-cultivation of Bacillus Coagulans and Streptococcus Thermophilus bacteria.....37
- S. P. Merenkova, D. I. Devyatkin*
Prospects of application of components of oilseeds in bread technology46
- E. A. Guz, N. Yu. Chesnokova, A. A. Kuznetsova, N. M. Portnov*
Studying possibility of using common bracken fern (pteridium aquilinum) in technology of biscuits for school meals52
- E. N. Demina, A. P. Simonenkova, A. O. Solovyova*
Method of preserving quality of meat raw materials at preparation of concentrates of lunch dishes quick cooking66
- A. L. Novokshanova, E. M. Shchetinina, A. S. Bilyalova*
Study of the possibility of using functional food ingredients in dairy products for consumption in metabolic syndrome.....73
- R. A. Zhuravlev, E. G. Dunets, T. A. Dzhum, M. Yu. Tamova*
Production technology and quality control mousse based on feijoa puree and buttermilk.....79
- M. A. Vaytanis, Z. R. Khodyreva*
PROSPECTS FOR EXPANDING RANGE OF WHIPPED VEGETABLE DISHES 89
- V. Ya. Chernykh, M. N. Kostyuchenko, Kh. A. Baluyan, D. O. Smetanin, R. Kh. Kondrakov*
Reducing rate of staling of bakery products made of wheat flour 96
- E. S. Semiryazhko, T. V. Pershakova, E. A. Ivanova, S. M. Gorlov*
Optimization of grape pomace dosages in confectionery production 107
- O. N. Musina, D. A. Usatyuk, N. I. Bondarenko*
Combined acidification in cheddar cheese technology 113
- D. A. Koch, Zh. A. Koch*
Pectin-containing powder from frozen pomace of small-fruited apples in grain bread production 118
- V. N. Getmanets*
Feasibility of producing cheese using buttermilk..... 124
- I. V. Lozovsky, S. A. Khalaburdina, T. V. Orlova*
Development of flour oriental sweets zemelakh and kikhelakh of increased nutritional value..... 130
- S. S. Kuzmina, L. A. Kozubaeva*
Prescription and technological solutions during production of gluten-free bakery products..... 140
- A. S. Zakharova, S. I. Koneva*
Study of qualitative characteristics multi-component mixtures for biscuits 148
- V. V. Kondratenko, E. Yu. Agarkova*
Relationship of molecular characteristics of pectins and their main technological properties 155
- G. E. Zhumalieva, G. S. Aktokalova, R. K. Kasymbek*
Development of technology of flour confectionery products using domestic flour from triticale grain 164
- M. S. Urbah, Yu. G. Sturova*
Optimization of fermentation process in production of fermented milk products 175

SECTION 2. CHEMICAL TECHNOLOGIES, MATERIALS SCIENCES, METALLURGY

<i>V. I. Mosorov, N. B. Khaptakhaeva, K. S. Korobkov</i> Application of neural networks in metallography	182
<i>Ya. N. Budnikova, A. E. Protsenko, A. N. Protse- nko</i> Relationship of molecular characteristics of pectins and their main technological prop- erties	186
<i>V. N. Khmelev, A. V. Shalunov, M. K. Kosheleva, I. A. Manyakhin, S. A. Terentiev, V. A. Nesterov, N. A. Azarov</i> Intensification of wool drying process using ultrasound	193
<i>O. B. Kudryashova, A. V. Shalunov, S. S. Titov, R. S. Dorovskikh</i> Mechanisms of secondary ultrasonic liq- uid spray	200
<i>B. P. Kulikov, N. V. Vasyunina, I. V. Dubova, A. S. Samoilo, R. O. Balanov, A. I. Bezrukikh, Yu. V. Bay- kovskiy, N. S. Dombrovskiy</i> Improvement of technology for synthesis of artificial fluorite and caustic soda solution from waste and middlings of aluminum pro- duction	208
<i>V. N. Khmelev, R. N. Golykh, S.N. Tsyganok, D. S. Abramenko, A. R. Barsukov, V. D. Minakov</i> Effect of cavitation region influence with the phase boundary and its influence on gas dissolution processes: research and analy- sis	217
<i>R. N. Golykh, V. D. Minakov</i> Theoretical studies of the influence of curvature of a spherical surface on the distor- tion of capillary waves formed under the influ- ence of cavitation	223
<i>R. E. Kryukov, A. R. Mikhno, S. V. Konovalov, I. A. Panchenko, I. A. Makhnev</i> Investigation of an alloy produced by the method of arc surface welding with high en- tropy fluid wire	228
<i>G.A. Koshkin, Ch. G. Pak, Vi. V. Kikoť, A. Ye. Rozen</i> On effect of heat treatment on character- istics of composites of "Zirconate-lead titan- ate – phosphate binder" system	235
<i>Y. A. Burykin</i> Optimization of rubber waste recycling process	243
<i>V. K. Drobyshev, I. A. Panchenko, S. V. Kono- valov</i> Mechanical properties and microstruc- ture of alloys of the coCrFeMnNi system	249
<i>N. N. Minakova</i> Comparative assessment of the contribu- tion of elastomer to formation of thermophys- ical characteristics of resistive composite ma- teri-als based on micrographs of the struc- ture	255
AUTHOR'S INDEX	260



РАЗДЕЛ 1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

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

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.001



ПРИМЕНЕНИЕ НОВЫХ ИНГРЕДИЕНТОВ В РЕЦЕПТУРЕ ПАТЕ-МУССА

Артем Маисович Карапетян ¹, Надежда Александровна Величко ²

^{1,2} Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

¹ ya.keks.tema@mail.ru

² vena@kgau.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4743-5573>

Аннотация. В статье рассматривается возможность использования цветоноса *Allium Sativum* в рецептуре пате-мусса на основе куриной печени и шпика. Пате-мусс является мясным деликатесным продуктом, приготовленным на основе утиной или куриной печени, свиного мяса, жира. Классическое его получение включает измельчение ингредиентов до однородного состояния, после чего полученная масса взбивается до получения мусса, помещается в формы и сверху добавляется желейная заливка с растопленным жиром. С целью обогащения компонентами функционального значения, а также придания оригинальных органолептических характеристик мясному продукту было смоделировано четыре опытных образца пате-мусса с добавлением различного количества растительного компонента цветоноса *Allium Sativum* – 3, 6, 9, 12 % взамен мясного сырья. Цветonos был собран в период начала завивания стрелок в июне 2022 г. в окрестностях города Красноярска. В качестве контрольного образца взята традиционная рецептура пате-мусса. Проведена органолептическая и дегустационная оценка разработанных образцов пате-мусса и сравнительный анализ с контрольным образцом. Органолептическую оценку готового изделия проводили по ГОСТ 9959-2015. Определение органолептических показателей пате-мусса с добавлением цветоноса *Allium Sativum* показало, что при внесении цветоноса в количестве 9 % взамен мясного сырья обеспечивается наилучший результат. В результате проведенной дегустационной оценки опытный образец с 9 % добавлением цветоноса *Allium Sativum* тоже оказался самым лучшим. Предложена принципиальная технологическая схема получения пате-мусса с добавлением цветоноса *Allium Sativum*, который вносится на этапе формирования компонентов.

Ключевые слова: *Allium Sativum*, стрелки чеснока, цветонос, пате-мусс, паштет, рецептура, дегустационная оценка, органолептическая оценка, внешний вид, обогащение.

Для цитирования: Карапетян А. М., Величко Н. А. Применение новых ингредиентов в рецептуре пате-мусса // Ползуновский вестник. 2024. № 2, С. 7–11. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.001. EDN: <https://elibrary.ru/GKLQBE>.

Original article

APPLICATION OF NEW INGREDIENTS IN PATE MUSSE RECIPE

Artem M. Karapetian ¹, Nadezhda A. Velichko ²

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

¹ ya.keks.tema@mail.ru

² vena@kgau.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5841-0000>

Abstract. The article considers the possibility of using *Allium Sativum* peduncle in the recipe of a pate mousse based on chicken liver and bacon. Pate mousse is a meat delicacy product, prepared on the basis of duck or chicken liver, pork meat, fat. Its classical preparation involves grinding the ingredients to a homoge-

© Карапетян А. М., Величко Н. А., 2024

neous state, after which the resulting mass is whipped until a mousse is obtained, placed in molds, and a jelly filling with melted fat is added on top. In order to enrich the components of functional significance, as well as to give original organoleptic characteristics to the meat product, four prototypes of the path mousse were modeled with the addition of various amounts of plant component *Allium Sativum* peduncle - 3, 6, 9, 12% instead of meat raw materials. The peduncle was collected during the beginning of the curling of the arrows in June 2022 in the vicinity of the city of Krasnoyarsk. The traditional recipe of pate mousse was taken as a control sample. Organoleptic and tasting evaluation of the developed pate mousse samples and comparative analysis with the control sample were carried out. Organoleptic evaluation of the finished product was carried out according to GOST 9959-2015. The determination of the organoleptic parameters of the path mousse with the addition of *Allium Sativum* peduncle showed that when applying a peduncle in the amount of 9% instead of meat raw materials, the best result is provided. As a result of the conducted tasting evaluation, the prototype with 9% addition of *Allium Sativum* peduncle also turned out to be the best, a basic technological scheme for obtaining a path mousse with the addition of *Allium Sativum* peduncle, which is introduced at the stage of component formation, was proposed.

Keywords: *Allium Sativum*, garlic arrows, peduncle, pate-mousse, pate, recipe, tasting evaluation, organoleptic evaluation, appearance, enrichment.

For citation: Karapetian, A.M. & Velichko, N.A. (2024). Application of new ingredients in pate musse recipe. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 7-11. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.02.001. EDN: <https://elibrary.ru/GKLQBE>.

ВВЕДЕНИЕ

Чеснок – культура, которая на территории Российской Федерации выращивается в больших масштабах как на плантациях для реализации, так и на частных огородах населения. Площадь распространения данного растения достаточно велика, а способ выращивания его весьма прост. В основном применяются для кулинарии зубчики чеснока или стеблевой части, не уделяя должного внимания верхушкам данного растения. Однако их можно применять в производстве различных кондитерских, мясных, хлебобулочных изделий в качестве перспективного дополнительного функционального компонента. Они используются даже в медицинских целях [1–3]. Кончики чеснока (*Allium Sativum*) – это перьевая часть цветоноса. По вкусу напоминающую спаржевую фасоль, но с характерным привкусом чеснока. Стрелки содержат различные витамины, клетчатку, макро- и микроэлементы, особенно в период закручивания, который наступает примерно в начале июня. В такое время они обладают максимальным количеством полезных веществ, закручиваясь и создавая светло-зеленые коробочки с семенами для дальнейшего размножения. Считается эффективным использование тех стрелок, которые начали закручиваться, но ещё не начали создавать семена с целью передачи полезных веществ в них.

Согласно литературным источникам, в стрелках чеснока содержится 1,3 г белка, 0,1 г жира и 3,4 г углеводов, а также витамины группы В и РР, А, Е, С. Калорийность продукта составляет 24 кКал на 100 г. Стрелки чеснока богаты различными моно- и дисахарида-

ми, в том числе фруктозой и глюкозой, примерно на 21 и 9 % соответственно. Основное преимущество данного цветоноса над другими является в наличии фитонцидов и аллицина, способных к уничтожению вирусов и бактерий, и блокировке их проникновения в организм. Макро- и микроэлементный состав исчисляется следующими элементами: кальцием, калием, германием, магнием, фосфором, натрием и т.д. Все это свидетельствует об их рациональном и полезном использовании в кулинарии в качестве обогащающего компонента. В современное время особое внимание уделяется мясным продуктам, в которых содержатся растительные компоненты, придающие продуктам функциональные свойства [4–10].

Пате-мусс – паштет национальной кухни Франции. Хотя имеются теории о происхождении этого продукта на территории Германии, в основном литературные источники презентуют данный вид продукта как французский. Название весьма точно отражает способ приготовления и суть блюда, это может быть мясо, птица, грибы, яйца и т.д. Данный продукт был весьма популярен в высшем обществе XVIII века. В 1782 году французский кулинар Клоза придумал данный рецепт, взяв за основу гусиную печень. Само же появление пате-мусса датируется 1778 годом, когда Маркиз де Контад поставил задачу своему повару Жаному Пьеру Клоза создать изысканное кушанье. Новое блюдо получило название *patedefoisgras* (паштет из гусиной печени). После великой французской революции данное блюдо стало достоянием не только высшего общества, но и всего народа Франции. Представляло интерес введение в рецептуру пате-мусса цветоноса *Allium Sa-*
ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 2 2024

ПРИМЕНЕНИЕ НОВЫХ ИНГРЕДИЕНТОВ В РЕЦЕПТУРЕ ПАТЕ-МУССА

tivum для придания продукту новых качественных характеристик.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение возможности применения цветonoса *Allium Sativum* в рецептурах пате-мусса.

ЗАДАЧИ

Определить качество пате-мусса при различных дозировках вводимого цветonoса.

Разработать рецептуру пате-мусса с добавлением растительного компонента *Allium-Sativum*.

Предложить принципиальную технологическую схему получения пате-мусса с цветonoсом *Allium Sativum*.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ

Объектом исследования является фарш, приготовленный на основе куриной печени и шпика. Цветonoс был собран в период начала их завивания в июне 2022 года. Он подвергался мойке и заморозке. В качестве кон-

Таблица 1 – Рецептуры пате-мусса контрольного и опытных образцов

Table 1 - Recipes of pate-mousse of control and experimental samples

Наименование	Контроль, г.	Опытные образцы, г			
		№ 1 (3 %)	№ 2 (6 %)	№ 3 (9 %)	№ 4 (12 %)
Печень куриная	135	130,9	126,9	122,85	118,8
Шпик	55	55	55	55	55
Стрелки чеснока	0	4,05	8,1	12,15	16,2
Лук репчатый	4	4	4	4	4
Морковь свежая	3	3	3	3	3
Соль пищевая	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Перец черный молотый	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Всего	200	200	200	200	200

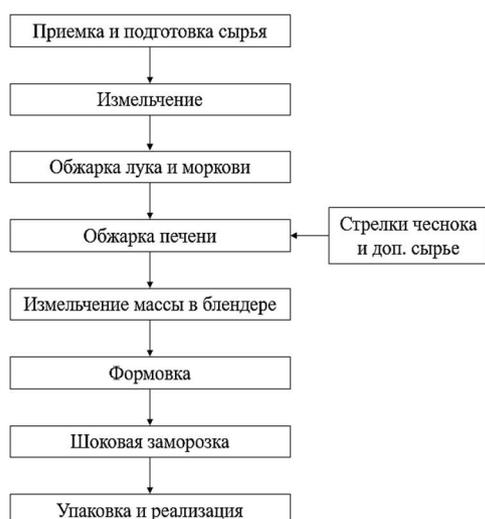


Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема получения опытного образца пате-мусса с цветonoсом *Allium Sativum*

Figure 1 - Schematic diagram of obtaining a prototype of the pate-mousse with the *Allium Sativum* peduncle

трольного образца взята традиционная рецептура пате-мусса. В опытные образцы вводили растительный компонент соцветия *Allium Sativum* в свежем виде с шагом в 3, 6, 9 и 12 % вместо мясного сырья. Органолептическую оценку готового изделия проводили по ГОСТ 9959-2015.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Приготовлено было пять образцов. Помимо контрольного, было изготовлено 4 опытных образца с 3, 6, 9 и 12 % содержанием цветonoса *Allium Sativum* взамен мясного фарша. Рецептуры пате-мусса с добавлением растительного компонента *Allium Sativum* представлены в таблице 1.

Принципиальная технологическая схема приготовления пате-мусса с добавлением цветonoса *Allium Sativum* представлена на рисунке 1.

Внешний вид полученных при изготовлении опытных образцов представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Внешний вид опытных образцов пате-мусса с добавлением цветonoса *Allium Sativum*
Figure 2 - Appearance of prototypes of pate-mousse with the addition of the *Allium Sativum* peduncle

Проведена органолептическая оценка качества опытных образцов по сравнению с контрольным. Итоги органолептической оценки пате-мусса представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Оценка органолептических показателей контрольного и опытных образцов пате-мусса

Table 2 - Evaluation of the organoleptic indicators of the control and experimental samples of the pate-mousse

Продукт	Внешний вид	Цвет	Запах	Вкус	Консистенция
Контроль	Соответствует данному виду продукции	Соответствует данному виду продукции	Соответствует данному виду продукции	Соответствует данному виду продукции	Сочная и плотная
3 %	Соответствует данному виду продукции	Соответствует данному виду продукции	Соответствует данному виду продукции	Соответствует данному виду продукции	Сочная и плотная
6 %	Соответствует данному виду продукции с небольшими вкраплениями цветоноса	Соответствует данному виду продукции	Соответствует данному виду продукции	Соответствует данному виду продукции с легким выраженным привкусом цветоноса	Сочная и плотная
9 %	Соответствует данному виду продукции с явными вкраплениями цветоноса	Соответствует данному виду продукции	Соответствует данному виду продукции со слабовыраженным запахом цветоноса	Соответствует данному виду продукции с выраженным привкусом цветоноса	Сочная и плотная
12 %	Соответствует данному виду продукции с множеством вкраплений цветоноса	Соответствует данному виду продукции	Соответствует данному виду продукции с выраженным запахом цветоноса	Вкус пате-мусса с навязчивым травянистым привкусом цветоноса	Сочная и плотная

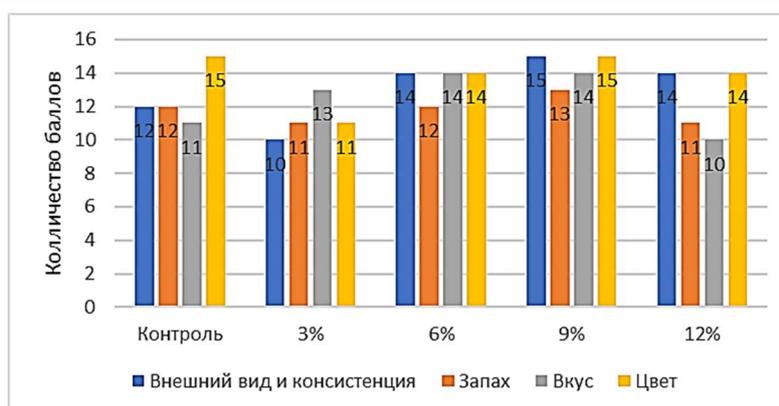


Рисунок 3 – Дегустационная оценка пате-мусса с добавлением цветоноса *Allium Sativum*

Picture 3 - Tasting assessment of the pate-mousse with the addition of the peduncle



Рисунок 4 – Внешний вид на разрезе опытного образца пате-мусса с добавлением 9 % цветоноса *Allium Sativum*

Figure 4 - Appearance in the section of a prototype pate-mousse with the addition of 9% *Allium Sativum* peduncle

Результаты дегустационной оценки исследуемых образцов пате-мусса представлены на рисунке 3.

В результате проведенной дегустационной оценки опытный образец с 9 % добавлением цветоноса оказался самым лучшим. Внешний вид на разрезе лучшего образца детально продемонстрирован на рисунке 4.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, показана возможность использования цветоноса *Allium Sativum* в рецептуре пате-мусса на основе куриной печени и шпика. Было установлено, что опытный образец пате-мусса с 9 % добавлением цветоноса *Allium Sativum* обеспечивает наилучшие органолептические показатели изделия. Разработана рецептура приготовления пате-мусса на основе куриной печени и шпика с добавлением растительного компонента цветоноса *Allium Sativum* и предложена принципиальная технологическая схема получения продукта. Внешний вид продукта, его запах, вкус, цвет и консистенция соответствуют критериям ГОСТ 9959-2015.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент № 2515138 Российская Федерация, МПК А21D 2/36 (2006.01). Способ приготовления ржаного хлеба «Украинская рапсодия» / Пашченко Л.П., Пашченко В.Л., Борисенко Д.В. № 2013100448/13; заявл. 2013.01.10; опубл. 2014.05.10.
2. Патент № 2656383 Российская Федерация, МПК А23G 3/36 (2006.01), А23G 3/54 (2006.01). Способ получения кондитерских изделий / Литвяк В.В. № 2017118691; заявл. 2017.05.29; опубл. 2018.06.05.
3. Патент № 2143276 Российская Федерация, МПКА 61К 36/59 (2006.01), А61К 33/14 (2006.01), А61К 33/18 (2006.01), А61К 33/24 (2006.01), А61К 36/28 (2006.01), А61К 36/56 (2006.01), А61P 9/10 (2006.01). Гомеопатическое лекарственное средство для лечения атеросклероза «Аурум-плюс мультигран» / Нечаева Н.П. № 99108765/14; заявл. 1999.05.06; опубл. 1999.12.27.
4. Мельникова Е.В., Величко Н.А., Беляков А.А. Разработка мясорастительного рубленого полуфабриката из мяса оленя для жителей Крайнего Севера // Вестник КрасГАУ. 2020. № 12. С. 177–183. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-12-177-183.
5. Величко Н.А., Брошко Д.В., Рыгалова Е.А. Возможность использования выжимок *Rubus Saxatilis* L. в рецептурах мясных рубленых полуфабрикатов // Вестник КрасГАУ. 2020. № 2. С. 177–182. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-2-177-182.
6. Коновалов К.Л. Растительные ингредиенты в производстве мясных продуктов // Пищевая промышленность. 2006. № 4. С. 68–69.
7. Карапетян А.М., Величко Н.А. Перспективы применения растительного компонента *Allium Sativum* в рецептурах мясных полуфабрикатов // Вестник КрасГАУ. 2022. № 5. С. 185–191. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-5-185-191.
8. Карапетян А.М., Величко Н.А. Перспективы применения растительных компонентов в различных рецептурах мясных рубленых полуфабрикатов // Вестник КрасГАУ. 2023. № 4. С. 155–162. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-4-155-162.
9. Величко Н.А., Карапетян А.М. Применение цветоноса *Allium Sativum* в рецептурах мясных тестовых полуфабрикатов // Вестник КрасГАУ. 2023. № 5. С. 234–239. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-5-234-239.
10. Карапетян А.М., Величко Н.А. Перспективы использования порошка цветоноса *ALLIUM SATIVUM* в мясных рубленых полуфабрикатах / Карапетян А.М., Величко Н.А. // Материалы межд. науч. конф. «Актуальные вопросы переработки и формирование качества продукции АПК». Красноярск, 2021. 22–24 ноября. С. 260–262.

Информация об авторах

А. М. Карапетян – магистрант кафедры «Технологии консервирования и пищевой биотехнологии» Красноярского государственного аграрного университета.

Н. А. Величко – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологии консер-

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 12 июля 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 06 мая 2024.

The article was received by the editorial board on 12 July 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 06 May 2024.

вирования и пищевой биотехнологии» Красноярского государственного аграрного университета.

REFERENCES

1. Pashchenko, L.P., Pashchenko, V.L. & Borisenko, D.V. (2014). Patent No. 2515138 Russian Federation, IPC A21D 2/36 (2006.01). The method of making rye bread "Ukrainian Rhapsody" No. 2013100448/13; dec. 2013.01.10; publ. 2014.05.10. (In Russ.).
2. Litvyak, V.V. (2018). Patent No. 2656383 Russian Federation, IPC A23G 3/36 (2006.01), A23G 3/54 (2006.01). The method of obtaining confectionery No. 2017118691; dec. 2017.05.29; publ. 2018.06.05. (In Russ.).
3. Nechaeva, N.P. (1999). Patent No. 2143276 Russian Federation, МПКА 61К 36/59 (2006.01), А61К 33/14 (2006.01), А61К 33/18 (2006.01), А61К 33/24 (2006.01), А61К 36/28 (2006.01), А61К 36/56 (2006.01), А61P 9/10 (2006.01). Homeopathic medicine for the treatment of atherosclerosis "Aurum-plus multigran". No. 99108765/14; dec. 1999.05.06; publ. 1999.12.27. (In Russ.).
4. Melnikova, E.V., Velichko, N.A. & Belyakov, A.A. (2020). Development of meat-and-vegetable chopped semi-finished product from reindeer meat for residents of the Far North. *Bulletin of KrasGAU*. (12). 177-183. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-12-177-183. (In Russ.).
5. Velichko, N.A., Broshko, D.V. & Rygalova, E.A. (2020). Possibility of using pomace *Rubus Saxatilis* L. In recipes of minced meat semi-finished products. *Bulletin of KrasSAU*. (2). 177-182. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-2-177-182. (In Russ.).
6. Konovalov, K.L. (2006). Vegetable ingredients in the production of meat products. *Food industry*. (4). 68-69. (In Russ.).
7. Karapetyan, A.M. & Velichko, N.A. (2022). Prospects for the use of the plant component *Allium Sativum* in the formulations of meat semi-finished products. *Vestnik KrasGAU*. (5). 185-191. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-5-185-191. (In Russ.).
8. Karapetyan, A.M. & Velichko, N.A. (2023). Prospects for the use of plant components in various recipes of meat chopped semi-finished products. *Vestnik KrasGAU*. (4). 155-162. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-4-155-162. (In Russ.).
9. Velichko, N.A. & Karapetyan, A.M. (2023). The use of the *Allium Sativum* peduncle in the recipes of meat test semi-finished products. *Vestnik KrasGAU*. (5). 234-239. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-5-234-239. (In Russ.).
10. Karapetyan, A.M. & Velichko, N.A. (2021). Prospects for the use of *ALLIUM SATIVUM* peduncle powder in minced meat semi-finished products. *Proceedings of the international scientific conference "Actual issues of processing and the formation of the quality of agricultural products"*. Krasnoyarsk. November 22-24. P. 260-262. (In Russ.).

Information about the authors

A.M. Karapetyan - is a master student of the Department of Canning Technologies and Food Biotechnology, Krasnoyarsk State Agrarian University.

N.A. Velichko - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Canning Technologies and Food Biotechnology, Krasnoyarsk State Agrarian University.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 641.5

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.002

 EDN: YQZWXE

ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИОКСИДАНТНОГО КОМПЛЕКСА ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ СОРТОВ ЧЕРНОЙ СМОРОДИНЫ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Ольга Викторовна Чугунова¹, Антон Владимирович Вяткин²,
Владислав Михайлович Тиунов³, Елена Михайловна Чеботок⁴,
Александр Валерьевич Арисов⁵

^{1, 2, 3, 5} Уральский государственный экономический университет», Екатеринбург, Россия

⁴ Структурное подразделение ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН «Свердловская селекционная станция садоводства», Екатеринбург, Россия

¹ chugun.ova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7039-4047>

² 3dognight2009@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0214-2398>

³ vladislav.tiunoff@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7741-3503>

⁴ sadovodstvo@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5942-6178>

⁵ arisov_av@usue.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8005-1697>

Аннотация. В статье представлены результаты исследования антиоксидантного комплекса 15 интродуцированных сортов черной смородины Свердловской области. По значениям и устойчивости показателей общей антиоксидантной активности, а также таких веществ, как фенольные соединения, флавоноиды и антоцианы, предложено использовать для дальнейшего изучения и реализации в блюдах и изделиях сорта «Глобус», «Шаман» и «Подарок Астахова». Определено, что употребление 100 г ягод рассматриваемых сортов черной смородины позволяет покрыть рекомендуемую суточную норму антиоксидантных веществ от 67,7 до 87,6 % в пересчете на аскорбиновую кислоту. Данное значение антиоксидантной активности позволяет рекомендовать ягоды черной смородины в качестве компонента-антиоксиданта в составе функциональных пищевых систем, направленных на снижение негативного воздействия окислительного стресса на организм человека.

Ключевые слова: плодово-ягодное сырье, функциональные пищевые системы, общая антиоксидантная активность.

Для цитирования: Исследование антиоксидантного комплекса интродуцированных сортов черной смородины Свердловской области / О. В. Чугунова [и др.] // Ползуновский вестник. 2024. № 2, С. 12–18. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.002. EDN: <https://elibrary.ru/YQZWXE>.

Original article

INVESTIGATION OF THE ANTIOXIDANT COMPLEX OF INTRODUCED VARIETIES OF BLACK CURRANT SVERDLOVSK REGION

Olga V. Chugunova¹, Anton V. Vyatkin², Vladislav M. Tiunov³,
Elena M. Chebotok⁴, Alexander V. Arisov⁵

^{1, 2, 3, 5} Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia

⁴ Structural Division of the Federal State Budgetary Institution Urfanits Ural Branch of the Russian Academy of Sciences "Sverdlovsk Horticulture Breeding Station", Yekaterinburg, Russia

© Чугунова О. В., Вяткин А. В., Тиунов В. М., Чеботок Е. М., Арисов А. В., 2024

ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИОКСИДАНТНОГО КОМПЛЕКСА ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ СОРТОВ ЧЕРНОЙ СМОРОДИНЫ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

¹ chugun.ova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7039-4047>

² 3dognight2009@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0214-2398>

³ vladislav.tiunoff@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7741-3503>

⁴ sadovodstvo@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5942-6178>

⁵ arisov_av@usue.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8005-1697>

Abstract. *The article presents the results of a study of the antioxidant complex of 15 introduced varieties of black currant in the Sverdlovsk region. According to the values and stability of indicators of total antioxidant activity, as well as substances such as phenolic compounds, flavonoids and anthocyanins, it is proposed to use them for further study and implementation in dishes and products of the Globus, Shaman and Astakhov's Gift varieties. It was determined that the consumption of 100 g of berries of the considered varieties of black currant allows you to cover the recommended daily allowance of antioxidant substances from 67.7 to 87.6% in terms of ascorbic acid. This value of antioxidant activity allows us to recommend black currant berries as an antioxidant component in functional food systems aimed at reducing the negative effects of oxidative stress on the human body.*

Keywords: *fruit and berry raw materials, functional food systems, total antioxidant activity.*

For citation: Chugunova, O.V., Vyatkin, A.V., Tiunov, V.M., Chebotok, E.M. & Arisov, A.V. (2024). Investigation of the antioxidant complex of introduced varieties of black currant Sverdlovsk region. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 12-18. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.02.002. EDN: <https://elibrary.ru/YQZWXE>.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время наблюдается активное введение биологически активных веществ природного происхождения в продукцию косметической, фармакологической и особенно пищевой промышленности. При этом особого внимания заслуживает местное растительное сырьё, имеющее в своем составе достаточное количество витаминов, антиоксидантов и фенольных соединений для обеспечения населения функциональными продуктами питания. Данное сырьё должно быть легкодоступным и возобновляемым.

Благодаря совокупности своих хозяйственно-биологических свойств, а именно: скороплодности, устойчивости, значительной величине и качеству урожая, при высокой пищевой ценности черная смородина представляет собой одну из наиболее широко распространенных в Свердловской области плодовых-ягодных культур [1, 2, 7, 12], которая сохраняется и в продуктах переработки, таких как желе-вые изделия, десертные ликеры, начинки конфет [6], замороженные полуфабрикаты [4] и многие другие изделия [5].

В качестве примера можно привести производство пастильных кондитерских изделий, обогащенных биологически активными веществами ягод черной смородины [13]. Текущие разработки нацелены на профилактику различных заболеваний, при этом среди активных веществ применяются вещества антиоксидантного комплекса [11]. Но для оптимизации рецептур и улучшения эффекта функционального продукта предложено определить перспективные сорта черной

POLZUNOVSKIY VESTNIK № 2 2024

смородины для дальнейшего использования в рецептурах блюд и изделий.

Цель работы: изучение антиоксидантного комплекса 15 сортов черной смородины интродуцированной в Свердловской области, а именно: значение общей антиоксидантной активности (АОА), а также содержание флавоноидов, фенольных соединений и антоцианов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Образцы исследования: ягоды 15 интродуцированных сортов черной смородины Свердловской области.

Период сбора урожая: 2021–2022 гг.

Образцы предоставлены структурным подразделением ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН «Свердловской селекционной станцией садоводства».

Описание сортов черной смородины представлено в таблице 1, включая массу плодов, значения плодоношения и сроки созревания [10].

Методология проводимых исследований [5] представлена на рисунке 1.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведено исследование АОА 15 интродуцированных сортов черной смородины Свердловской области (рис. 2). Полученные значения АОА находятся в пределах от $7,410 \pm 0,222$ до $28,041 \pm 0,991$ ммоль/дм³ экв. Максимальные, и при этом стабильные значения исследуемого показателя по результатам двухлетних наблюдений, можно отметить у таких сортов, как «Шаман» и «Подарок

Астахова» со значениями 23,299–21,814±0,901 и 21,669–22,636±0,886 ммоль/дм³ экв соответственно, при этом изменение показателя является крайне незначительным и равно 6,4 и 4,3 %. Отдельно можно выделить сорт «Глобус» – значение исследуемого показателя является значительным и находится в диапазоне 21,666–28,041±0,994 ммоль/дм³ экв, при

этом также значительно изменяется на 22,7 % от года к году. Соответственно, ягоды черной смородины интродуцированных сортов Свердловской области способны удовлетворять рекомендованную суточную потребность в диапазоне от 23,1 до 87,6 % в зависимости от сорта.

Таблица 1 – Описание исследуемых сортов черной смородины

Table 1 - Description of the studied blackcurrant varieties

Наименование сорта	Масса ягод, г	Дегустационная оценка, балл	Плодоношение, т/га	Сроки созревания
Валовая	1,5–2,5	4,0	6,1	Ранний
Памяти Калининой	2,5–3,5	5,0	14,3	Ранний
Удалец	1,6–4,0	5,0	7,1–14,0	Раннесредний
Шаман	1,5–4,0	4,7	7,2–16,0	Раннесредний
Василиса	1,6–2,5	4,1	10,0	Средний
Вымпел	1,2–2,3	5,0	4,9	Средний
Глобус	1,8–2,2	4,6	7,0	Средний
Добрый Джин	1,3–6,0	4,8	9,0	Средний
Пилот	1,8–2,5	4,8	8,2–11,6	Средний
Фортуна	1,8–3,5	4,1	3,7	Средний
Геркулес	1,6–3,6	5,0	11,1	Поздний
Краса Львова	1,7–5,0	4,5	16–18	Поздний
Подарок Астахова	2,2–2,9	4,8	16,4	Поздний
Селеченская	1,7–3,3	4,7	9,9–18,7	Поздний
Славянка	1,3–3,0	4,9	9,0	Поздний



Рисунок 1 – Методология проводимых исследований

Figure 1 - Methodology of ongoing research

ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИОКСИДАНТНОГО КОМПЛЕКСА ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ СОРТОВ ЧЕРНОЙ СМОРОДИНЫ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

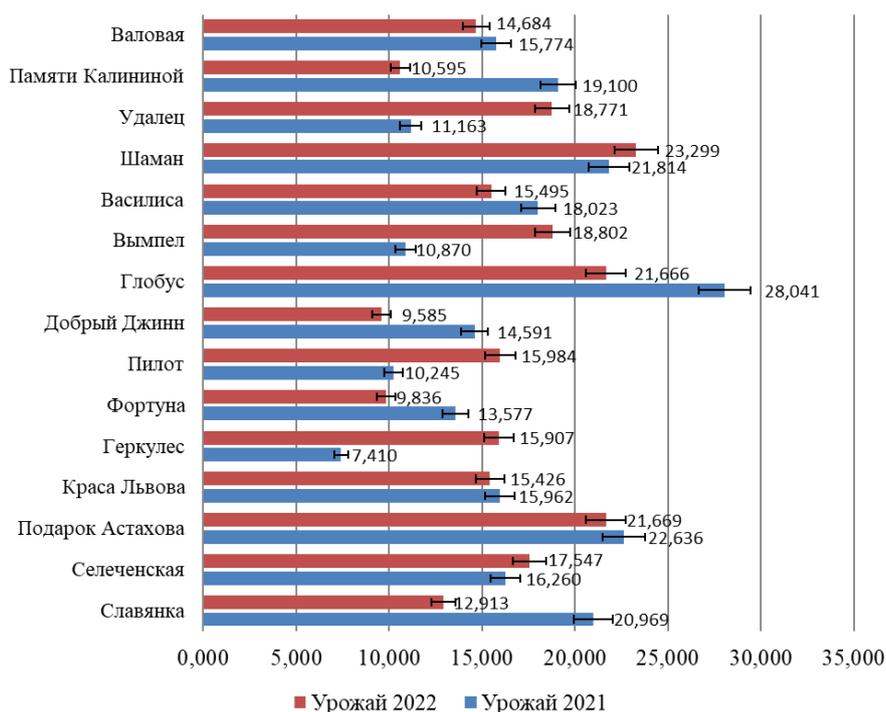


Рисунок 2 – Изменение показателей общей АОА у исследуемых образцов интродуцированных сортов черной смородины Свердловской области урожая 2021–2022 гг., ммоль/дм³ экв

Figure 2 - Changes in the indicators of total AOA in the studied samples of introduced varieties of black currant of the Sverdlovsk region of the harvest 2021-2022, mmol/dm³ eq

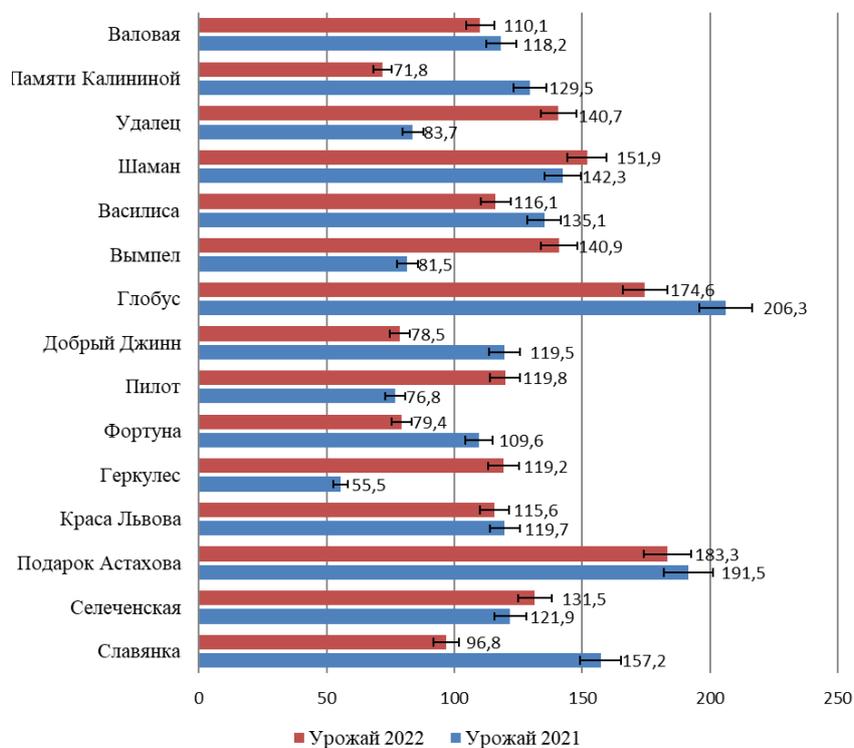


Рисунок 3 – Изменение показателей содержания антоцианов у исследуемых образцов интродуцированных сортов черной смородины Свердловской области урожая 2021–2022 гг., мг цианидин-3-гликозида/100 г съедобной части

Figure 3 - Changes in the anthocyanin content in the studied samples of introduced varieties of black currant of the Sverdlovsk region harvest 2021-2022, mg of cyanidin-3-glycoside/100 g of edible part

По результатам исследования содержания антоцианов (рис. 3) максимальное значение имеет сорт «Глобус», а именно $206,3 \pm 6,2$ мг цианидин-3-гликозида/100 г съедобной части. В свою очередь, минимальное значение определено у сорта «Геркулес» ($55,5 \pm 1,7$ мг цианидин-3-гликозида/100 г съедобной части). Стоит отметить наиболее перспективные сорта (по содержанию антоцианов): «Шаман», «Подарок Астахова» и «Глобус» со значениями содержания антоцианов мг цианидин-3-гликозида/100 г съедобной части $151,9-142,3 \pm 4,4$; $183,3-191,5 \pm 5,6$; $174,6-206,3 \pm 5,7$ соответственно. Изменения данного показателя от года к году у данных сортов находится в диапазоне $4,3-15,4$ %.

Значения, полученные в результате проведенных исследований содержания флавоноидов (рис. 4) в ягодах черной смородины, интродуцированных сортов Свердловской области, находятся в пределах: $26,9 \pm 0,8-95,6 \pm 2,9$ мг/100 г съедобной части. Наиболее перспективными по содержанию флавоноидов для дальнейших исследований являются следующие сорта: «Шаман», «Подарок Астахова» и «Глобус» со значениями содержания антоцианов мг/100 г съедобной части $73,8-78,8 \pm 2,3$; $78,8-82,3 \pm 2,4$; $88,9-95,6 \pm 2,8$ соответственно. Изменения данного показателя от года к году у данных сортов находится в диапазоне $4,2-7,0$ %.

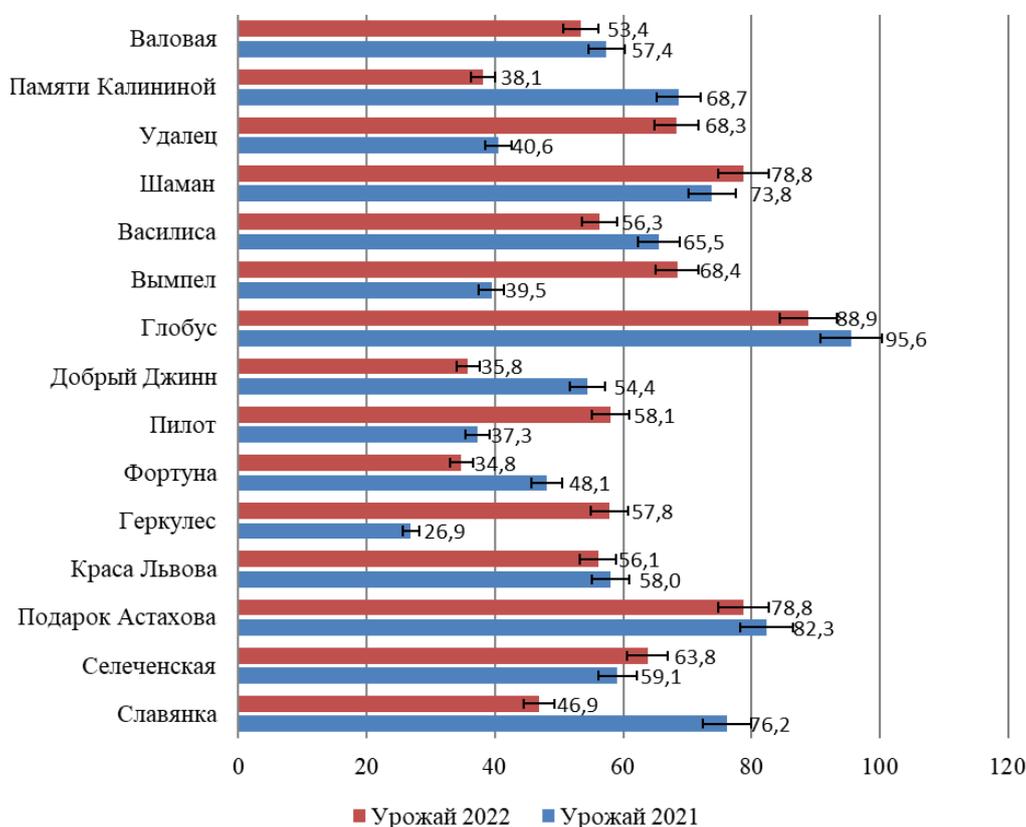


Рисунок 4 – Изменение показателей содержания флавоноидов у исследуемых образцов интродуцированных сортов черной смородины Свердловской области урожая 2021–2022 гг., мг/100 г съедобной части

Figure 4 - Changes in the indicators of flavonoid content in the studied samples of introduced varieties of black currant of the Sverdlovsk region harvest 2021-2022, mg/100 g of edible part

По результатам исследования содержания фенольных соединений (рис. 5) максимальное значение имеет сорт «Глобус», а именно $627,9 \pm 18,8$ мг галловой кислоты/100 г съедобной части. В свою очередь, минимальное значение определено у сорта «Геркулес» ($185,7 \pm 6,6$ мг галловой кислоты/100 г съедобной части). Стоит отметить наиболее

перспективные сорта (по содержанию фенольных соединений): «Шаман», «Подарок Астахова» и «Глобус» со значениями содержания антоцианов мг/100 г съедобной части $546,6-583,8 \pm 16,9$; $542,9-567,2 \pm 16,7$; $542,9-627,9 \pm 17,6$ соответственно. Изменения данного показателя год к году у данных сортов находится в диапазоне $4,3-13,5$ %.

ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИОКСИДАНТНОГО КОМПЛЕКСА ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ СОРТОВ ЧЕРНОЙ СМОРОДИНЫ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

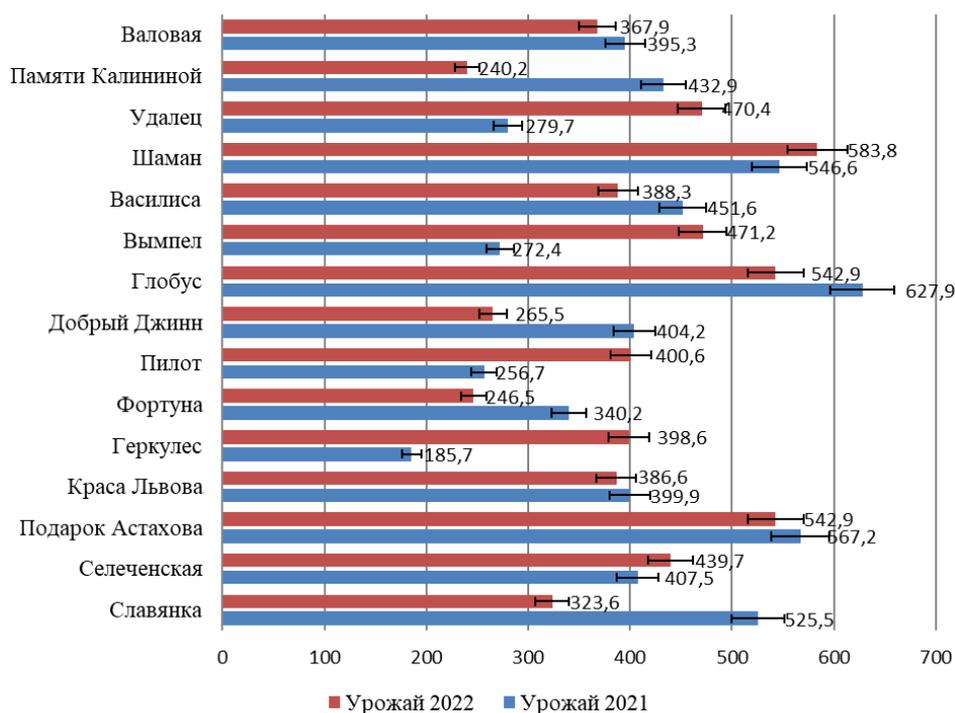


Рисунок 5 – Изменение показателей содержания фенольных соединений у исследуемых образцов интродуцированных сортов черной смородины Свердловской области урожая 2021–2022 гг., мг галловой кислоты/100 г съедобной части

Figure 5 - Changes in the content of phenolic compounds in the studied samples of introduced varieties of black currant of the Sverdlovsk region harvest 2021-2022, mg of gallic acid/ 100 g of edible part

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Включение в рацион функциональных продуктов питания антиоксидантной направленности обусловлено необходимостью снижения негативного влияния окислительного стресса на организм человека. Одним из компонентов таких функциональных пищевых систем могут быть использованы ягоды черной смородины, благодаря развитому антиоксидантному комплексу, обусловленному значительным содержанием таких веществ-антиоксидантов, как флавоноиды, антоцианы и фенольные соединения.

По совокупности исследуемых показателей антиоксидантного комплекса среди лидирующих сортов черной смородины можно выделить следующие интродуцированные сорта, ммоль-экв/дм³: «Шаман» – 23,299–21,814±0,901, «Глобус» – 21,666–28,041±0,994 и «Подарок Астахова» – 21,669–22,636±0,886 соответственно. Определено, что употребление 100 г ягод данных рассматриваемых сортов черной смородины позволяет покрыть рекомендуемую суточную норму антиоксидантных веществ от 67,7 до 87,6 % в пересчете на аскорбиновую кислоту.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аджиахметова С.Л. Изучение суммарного содержания антиоксидантов, полисахаридов, элементного состава и аминокислот растительного сырья смородины черной / Аджиахметова С.Л., Червоная Н.М., Поздняков Д.И., Оганесян Э.Т. // Химия растительного сырья. 2021. № 3. С. 265–274.
2. Акимов М.Ю. Биологическая ценность плодов и ягод российского производства / Акимов М.Ю., Бессонов В.В., Коденцова В.М., Эллер К.И., Вржесинская О.А., Бекетова Н.А. [и др.] // Вопросы питания. 2020. Т. 89. № 4. С. 220–232.
3. Акимов М.Ю. Новые селекционно-технологические критерии оценки плодовой и ягодной продукции для индустрии здорового и диетического питания // Вопросы питания. 2020. Т. 89. № 4. С. 244–254.
4. Воронина М.С. Исследование химических характеристик ягод черной смородины в ходе обработки жидким азотом / Воронина М.С., Макарова Н.В., Игнатова Д.Ф., Гуляева А.Н., Голубева Т.С., Каткасова В.Г., Бабенкова А.А. // Химия растительного сырья. 2022. № 3. С. 301–308.
5. Вяткин А.В. Исследование перспективных сортообразцов черной смородины Уральской селекции / Вяткин А.В., Чеботок Е.М. // Промышленность и сельское хозяйство. 2023. № 6(59). С. 53–59.
6. Громова И.А. Исследование химических характеристик продуктов и отходов переработки ягод черники и черной смородины / Громова И.А., Воронина М.С., Макарова Н.В. // Химия растительного сырья. 2021. № 1. С. 251–257.
7. Егорова Е.Ю. Использование экстрактов лекарственно-технического сырья в рецептурах десертных ликеров и ликерных начинок конфет и карамели /

Егорова Е.Ю., Ткачева А.Ю., Шохин Д.А. // Ползуновский вестник. 2021. № 3. С. 21–29.

8. Лазарев В.А. Пастильное изделие на основе изомальта и эритрита, обогащенное биологически активными веществами черной смородины / В.А. Лазарев, А.Р. Ершова // Индустрия питания. 2022. Т. 7, № 2. С. 37–43. DOI 10.29141/2500-1922-2022-7-2-4.

9. Михайлова И.В. Смородина черная как перспективный источник полифенольных антиоксидантов / Михайлова И.В., Филиппова Ю.В., Кузьмичева Н.А., Винокурова Н.В., Иванова Е.В., Воронкова И.П. // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 7–2(109). С. 28–32.

10. Сайт «Свердловская селекционная станция садоводства – структурное подразделение ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН» [Электронный ресурс]. URL : <https://sados.ru/> (дата обращения: 01.06.2023).

11. Тарасов А.В. Определение антиоксидантной активности водных экстрактов некоторых растений Уральского региона / Тарасов А.В., Бухаринова М.А., Хамзина Е.И. // Индустрия питания. Food Industry. 2018. Т. 3. № 2. С. 31–38. DOI: 10.29141/2500-1922-2018-3-2-5.

12. Тринева О.В. Методы определения антиоксидантной активности объектов растительного и синтетического происхождения в фармации (обзор) // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2017. № 4. С. 180–197.

13. Яшин А.Я. Ягоды: химический состав, антиоксидантная активность. Влияние потребления ягод на здоровье человека / Яшин А.Я., Веденин А.Н., Яшин Я.И., Немзер Б.В. // Аналитика. 2019. Т. 9. № 3. С. 222–231.

Информация об авторах

О. В. Чугунова – д.т.н., профессор, заведующая кафедрой технологии питания, Уральского государственного экономического университета.

А. В. Вяткин – к.т.н., ассистент кафедры туристического бизнеса и гостеприимства Уральского государственного экономического университета.

В. М. Тиунов – к.т.н., доцент кафедры технологии питания Уральского государственного экономического университета.

Е. М. Чеботок – к.с.-х.н, ученый секретарь, старший научный сотрудник, Структурное подразделение ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН «Свердловская селекционная станция садоводства».

А. В. Арисов – к.т.н., старший преподаватель кафедры технологии питания Уральского государственного экономического университета.

REFERENCES

1. Adjiakhmetova, S.L., Chervonnaya, N.M., Pozdnyakov, D.I. & Oganesyan, E.T. (2021). The study of the total content of antioxidants, polysaccharides, elemental composition and amino acids of vegetable raw materials of black currant. Chemistry of vegetable raw materials. (3). 265-274. (In Russ.).

2. Akimov, M.Yu., Bessonov, V.V., Kodentsova, V.M., Eller, K.I., Vrzhesinskaya, O.A., Beketova, N.A. [et al.]. (2020). The biological value of fruits and berries of Russian production. Nutrition issues. 89(4). 220-232. (In Russ.).

3. Akimov, M.Yu. (2020). New selection and technological criteria for evaluating fruit and berry products for the

industry of healthy and dietary nutrition. Nutrition issues. 89(4). 244-254. (In Russ.).

4. Voronina, M.S., Makarova, N.V., Ignatova, D.F., Gulyaeva, A.N., Golubeva, T.S., Katkasova, V.G. & Babenkova, A.A. (2022). Investigation of the chemical characteristics of black currant berries during treatment with liquid nitrogen. Chemistry of vegetable raw materials. (3). 301-308. (In Russ.).

5. Vyatkin, A.V. & Chebotok, E.M. (2023). Studies of promising varieties of black currant of the Ural selection. Industry and agriculture. 6(59). 53-59. (In Russ.).

6. Gromova, I.A., Voronina, M.S. & Makarova, N.V. (2021). Investigation of chemical characteristics of products and waste products of blueberry and black currant processing. Chemistry of vegetable raw materials. (1). 251-257. (In Russ.).

7. Egorova, E.Yu., Tkacheva, A.Yu. & Shokhin, D.A. (2021). The use of extracts of medicinal and technical raw materials in formulations of dessert liqueurs and liqueur fillings of sweets and caramel. Polzunovskiy vestnik. (3). 21-29. (In Russ.).

8. Lazarev, V.A. & Ershova, A.R. (2022). Pastille product based on isomalt and erythritol enriched with biologically active substances of black resin. The food industry. 7(2). 37-43. (In Russ.). DOI 10.29141/2500-1922-2022-7-2-4.

9. Mikhailova, I.V., Filippova, Yu.V., Kuzmicheva, N.A., Vinokurova, N.V., Ivanova, E.V. & Voronkova, I.P. (2021). Black currant as a promising source of polyphenolic antioxidants. International Scientific Research Journal. 7-2(109). 28-32. (In Russ.).

10. Website "Sverdlovsk Horticulture Breeding Station - structural subdivision of FSBI Urfanits Ural Branch of the Russian Academy of Sciences" Retrieved from <https://sados.ru/>. (In Russ.).

11. Tarasov, A.V., Bukharinova, M.A. & Khamzina, E.I. (2018). Determination of the antioxidant activity of aqueous extracts of some plants of the Ural region. Food industry Food Industry. 3(2). 31-38. (In Russ.). DOI: 10.29141/2500-1922-2018-3-2-5.

12. Trineeva, O.V. (2017). Methods for determining the antioxidant activity of objects of plant and synthetic origin in pharmacy (review). Development and registration of medicines. (4). 180-197. (In Russ.).

13. Yashin, A.Ya., Vedenin, A.N., Yashin, Ya.I. & Nemzer, B.V. (2019). Berries: chemical composition, antioxidant activity. The effect of berry consumption on human health. Analitika. 9(3). 222-231. (In Russ.).

Information about the authors

O.V. Chugunova - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Food Technology, Ural State University of Economics.

A.V. Vyatkin - Candidate of Technical Sciences, Assistant of the Department of Tourism Business and Hospitality, Ural State University of Economics.

V.M. Tiunov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Nutrition Technology at the Ural State University of Economics.

E.M. Chebotok - Candidate of Agricultural Sciences, Scientific Secretary, Senior Research Fellow, Structural Subdivision of the FGBNU Urfa Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences "Sverdlovsk Horticulture Breeding Station".

A.V. Arisov - Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Food Technology, Ural State University of Economics.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 20 июня 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 06 мая 2024.

The article was received by the editorial board on 20 June 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 06 May 2024.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.644.9

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.003



ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКСТРАКТА ИЗ ПЛОДОВ ХЕНОМЕЛЕСА В ТЕХНОЛОГИИ ПШЕНИЧНОГО ХЛЕБА

Надежда Сергеевна Санжаровская ¹, Наталья Викторовна Сокол ²

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

¹ hramova-n@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8403-7892>

² sokol_n.v@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-9051-8190>

Аннотация. Создание продуктов питания, богатых биологически активными веществами, является важной задачей на современном этапе развития России. Хлебобулочные изделия популярны среди всех возрастных групп населения, что делает их удобным объектом для обогащения. Хеномелес является перспективным видом, который сочетает в своем составе необходимое количество пектиновых веществ, органических кислот, фенольных соединений, витаминов и отличается устойчивым и приятным вкусом и ароматом. Объектами исследований являлись: экстракт из плодов хеномелеса, композитная смесь, тестовые полуфабрикаты, рецептурные модели хлебобулочных изделий. Экстракт из плодов хеномелеса перспективен для хлебопечения с позиции решения ряда проблем отрасли. Исследованиями подтверждено, что внесение экстракта из плодов хеномелеса укрепляет клейковину, что свидетельствует о возможности использования данной добавки в технологии хлебобулочных изделий из муки со слабой клейковиной. Установлено положительное влияние экстракта из плодов хеномелеса на жизнедеятельность и бродильную активность дрожжей и интенсивность созревания хлебопекарных полуфабрикатов. Доказано, что использование экстракта из плодов хеномелеса позволяет повысить показатель титруемой кислотности на 25–30 %, что позволяет сократить продолжительность брожения теста. По результатам оценки физико-химических и органолептических показателей качества хлебных изделий с добавлением экстракта из хеномелеса определено, что оптимальным является внесение 15 % добавки. Образцы имеют красивую текстуру, приятный привкус и аромат хеномелеса.

Ключевые слова: плоды хеномелеса, экстракт, мука пшеничная, клейковина, дрожжи, хлебобулочные изделия

Для цитирования: Санжаровская Н. С., Сокол Н. В. Целесообразность использования экстракта из плодов хеномелеса в технологии пшеничного хлеба // Ползуновский вестник. 2024. № 2, С. 19–26. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.003. EDN: <https://elibrary.ru/AQUFGU>.

Original article

EXPEDIENCY OF USING AN EXTRACT FROM FRUITS OF HENOMELES IN TECHNOLOGY OF WHEAT BREAD

Nadezhda S. Sanzharovskaya ¹, Natalia V. Sokol ²

^{1,2} Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

¹ hramova-n@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8403-7892>

² sokol_n.v@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-9051-8190>

Abstract. The creation of food products rich in biologically active substances is an important task at the present stage of Russia's development. Bakery products are popular among all age groups of

© Санжаровская Н. С., Сокол Н. В., 2024

the population, which makes them a promising object for enrichment. Henomeles is a promising species that combines in its composition the necessary amount of pectin substances, organic acids, phenolic compounds, vitamins and is characterized by a stable and pleasant taste and aroma. The objects of research were: extract from the fruits of henomeles, composite mixture, test semi-finished products, recipe models of bakery products. The extract from the fruits of henomeles is promising for baking from the position of solving a number of problems of the industry. Studies have confirmed that the introduction of an extract from the fruits of henomeles strengthens gluten, which indicates the possibility of using this additive in the technology of bakery products made of flour with weak gluten. The positive effect of the extract from the fruits of henomeles on the vital activity and fermentation activity of yeast and the intensity of maturation of bakery semi-finished products has been established. It is proved that the use of an extract from the fruits of henomeles can increase the titratable acidity by 25-30%, which reduces the duration of fermentation of the dough. According to the results of the evaluation of physico-chemical and organoleptic quality indicators of bread products with the addition of an extract from henomeles, it was determined that the optimal addition is 15% of the additive. The samples have a beautiful texture, a pleasant taste and aroma of henomeles.

Keywords: henomeles fruit, extract, wheat flour, gluten, yeast, bakery products.

For citation: Sanzharovskaya, N.S. & Sokol, N.V. (2024). Expediency of using an extract from fruits of henomeles in technology of wheat bread. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 19-26. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.02.003. EDN: <https://elibrary.ru/AQUFGU>.

ВВЕДЕНИЕ

Исследования диетологов свидетельствуют о том, что в современном мире одно лишь традиционное питание приводит к различным видам пищевой недостаточности, что может быть обусловлено обедненностью рационов питания макро- и микронутриентами, белками и другими биологически активными соединениями. При этом потребление чрезмерного количества пищевых добавок, других пищевых компонентов химического происхождения и несбалансированных рационов приводит к физиологическим нарушениям со стороны желудочно-кишечного тракта, иммунной и центральной нервной системы [1].

Из-за невысокой стоимости исходного сырья создание обогащенных продуктов на основе зерна стало одним из прогрессивных направлений в развитии отрасли, т.к. они способны повысить сопротивляемость организма к неблагоприятным факторам и компенсировать недостаток биологически активных веществ в рационе.

Современное состояние развития пищевой промышленности предполагает расширение ассортимента продукции питания, в частности, хлебобулочных изделий, обогащенных биологически активными веществами. Повысить пищевую и биологическую ценность изделий из дрожжевого пшеничного теста можно путем использования дикорастущего сырья.

Фруктовое дикорастущее сырье и продукты его переработки (порошки, пасты, пюре, концентраты, соки) являются источником природного комплекса биологически активных веществ, позитивно влияющих на человеческий организм. Они относятся к поставщикам витаминов, минеральных веществ, фенольных со-

единений, пектиновых веществ, обладающих широким спектром биологического действия (гипотензивного и сосудосуживающего, радиопротекторного, дезинтоксикационного и др.). Их применяют для улучшения структурно-механических, органолептических свойств и обогащения нутриентами пищевых продуктов [2].

Среди большого разнообразия дикорастущего и культивируемого растительного сырья большой интерес представляют плоды хеномелеса [3].

Хеномелес (айва японская) – карликовый кустарник, который возник в Восточной Азии и использовался в китайской медицине 3000 лет назад [4].

Хеномелес (*Chaenomeles*) принадлежит к семейству розовых (*Rosaecae*), подсемейству яблоневые (*Pomoideae*). Японская айва является эндемичным видом, произрастающим в Японии и появившимся в Европе в 1869 году. Раньше этот кустарник ценился в основном за его декоративные качества (кирпично-красные цветы). В настоящее время посевы *C. japonica* охватывают всю умеренную зону, а самая большая площадь находится в таких странах бассейна Балтийского моря, как Литва, Латвия, Эстония, Швеция и Финляндия. Кустарники *Chaenomeles japonica* не проявляют специфических требований к почве и, кроме того, относительно устойчивы к переменным условиям окружающей среды [5].

Плоды хеномелеса шаровидные, неправильной формы напоминающие яблоко. Их размер варьируется, а масса не превышает 50 г. Незрелые плоды имеют зеленый цвет, а зрелые приобретают желтый окрас и покрываются слоем кутикулы, иногда на них появляется румянец. Спелые плоды твердые со слег-

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКСТРАКТА ИЗ ПЛОДОВ ХЕНОМЕЛЕСА В ТЕХНОЛОГИИ ПШЕНИЧНОГО ХЛЕБА

ка липкой кожурой, стойким и сильным ароматом и терпко-кислым вкусом. В семенной камере плодов хеномелеса содержится до 50...80 коричневых семян (их количество варьируется). В мякоти практически нет каменных клеток, а плоды после разрезания долго сохраняют исходную окраску. Несмотря на тонкую кожуру, плоды хеномелеса хорошо переносят транспортировку и хранение, в прохладных условиях сохраняют свежесть до нескольких месяцев [6].

Отличительной чертой плодов айвы японской среди других видов рода *Chaenomeles* является богатый и привлекательный ароматический профиль, описываемый как «цветочный», «фруктовый» или «сладкий», который обусловлен присутствием многих летучих соединений, в основном сложных эфиров, спиртов, альдегидов и кетонов. Преобладающими соединениями, ответственными за запах плодов хеномелеса, являются спирты: метанол, этанол. Второй группой соединений, которые важны для формирования аромата, являются альдегиды. В свежем соке *C. japonica* в наибольшем количестве содержался валериановый альдегид [7].

Высокое содержание полифенолов, характеризующихся антиоксидантной активностью, и их богатый профиль повлияли на интерес к плодам айвы японской как средству, используемому при различных недугах в традиционной китайской медицине.

Употребление плодов рода *Chaenomeles* рекомендовалось при ревматизме, авитаминозе, холере, дизентерии, энтерите, а также для облегчения симптомов диареи и рвоты. Научно подтверждены биологические и оздоровительные свойства отдельных видов хеномелеса, среди которых наиболее сильное действие проявлял вид *C. speciosa*. Подчеркивается противовоспалительное, анальгетическое, спазмолитическое, антиоксидантное, иммунорегуляторное, антибактериальное, антиноцицептивное действие плодов этого вида [8].

Было также обнаружено, что вторичные метаболиты, присутствующие в отдельных видах хеномелеса, могут применяться для лечения болезни Паркинсона, а также оказывать защитное действие на печень. В частности, плоды японской айвы могут быть использованы для лечения заболеваний желудка.

Исследования биологической активности плодов японской айвы выявили их огромный потенциал для здоровья человека, включая стимулирование роста полезных кишечных бактерий *Lactocaseibacillus casei* и *Lactiplantibacillus plantarum*, защитное действие на липидную мембрану от свободных радикалов и ингибирование циклооксигеназы, участвующей в воспалительных реакциях.

Пищевые технологи заинтересованы в использовании недооцененных или малоизвестных видов растений. Плоды хеномелеса являются примером сырья с большим технологическим потенциалом [3]. Поэтому они находят все более широкое применение в пищевой промышленности. Благодаря химическому составу, сенсорным характеристикам и хранению плоды айвы японской предлагаются к употреблению после обработки в виде сока, в качестве добавки к вареньям, пюре и цукатам. Они также могут быть дополнением к мороженому, лимонаду, творогу и йогурту, желе, а также в качестве добавки к чаям и кондитерским изделиям [9–10].

Таким образом, плоды хеномелеса благодаря как составу, биологически активных соединений, которые в них присутствуют, так и оригинальным сенсорным свойствам, могут быть ценным сырьем в пищевой промышленности нашей страны. Поэтому стоит обратить внимание на поиск инновационных возможностей использования этого сырья для расширения ассортимента предлагаемых на рынке продуктов.

МЕТОДЫ

Целью работы является использование экстракта из плодов хеномелеса в технологии хлебобулочных изделий из дрожжевого теста и исследование его влияния на показатели качества готовых изделий.

Объектами исследований стали:

- экстракт из плодов хеномелеса;
- композитная мучная смесь, составленная из следующих компонентов: 60 % пшеничной муки первого сорта, 40 % муки пшеничной цельнозерновой;
- полуфабрикаты (тесто);
- готовые образцы хлеба.

Определение основных показателей качества осуществляли общепринятыми методами, регламентированными соответствующими нормативными документами в 3-х повторностях.

Экстракт из плодов хеномелеса получали по технологии, разработанной ранее [11], он характеризовался следующими показателями: растворимые сухие вещества – 2,6 %; pH – 3,02; выход пектиновых веществ – 4,23 % на а.с.м.; степень чистоты – 0,18 [11].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Качество готовых изделий из дрожжевого теста связано с качеством муки. Поэтому исследования были направлены на определение влияния экстракта из плодов хеномелеса на хлебопекарные свойства муки, кото-

рые зависят от состояния углеводно-амилазного и белково-протеиназного комплексов.

В процессе замешивания дрожжевого теста первым вступает в действие белково-протеиназный комплекс, проявляющийся в поглощении и удержании белками муки воды

и формировании клейковинного каркаса. Экстракт из плодов хеномелеса вносили в количестве 5–20 % к массе муки. Результаты оценки влияния экстракта из плодов хеномелеса на свойства клейковины представлены на рисунках 1–2.

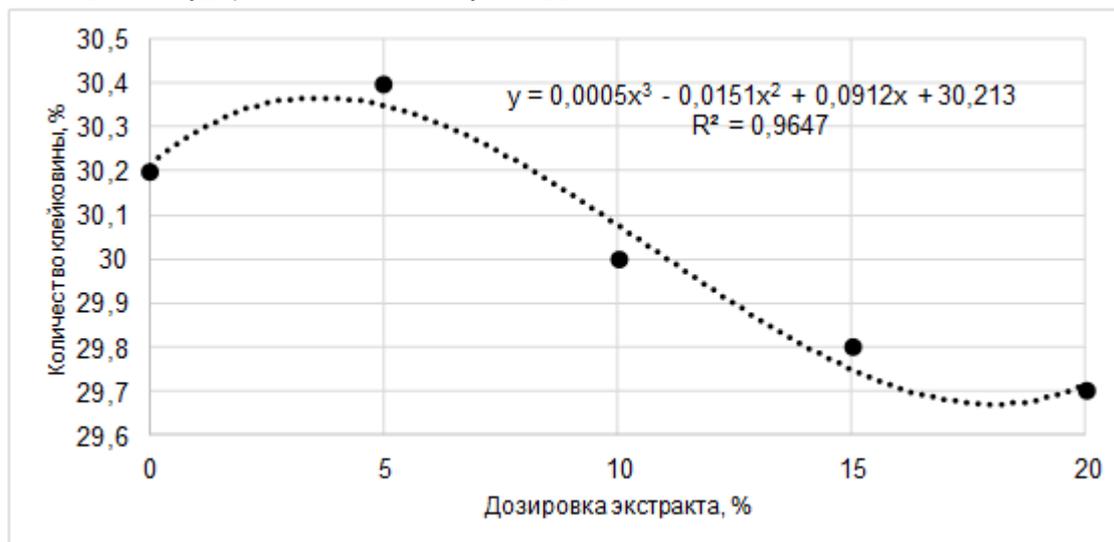


Рисунок 1 – Влияние экстракта из плодов хеномелеса на количество клейковины
Figure 1 - The effect of the extract from the fruits of henomeles on the amount of gluten

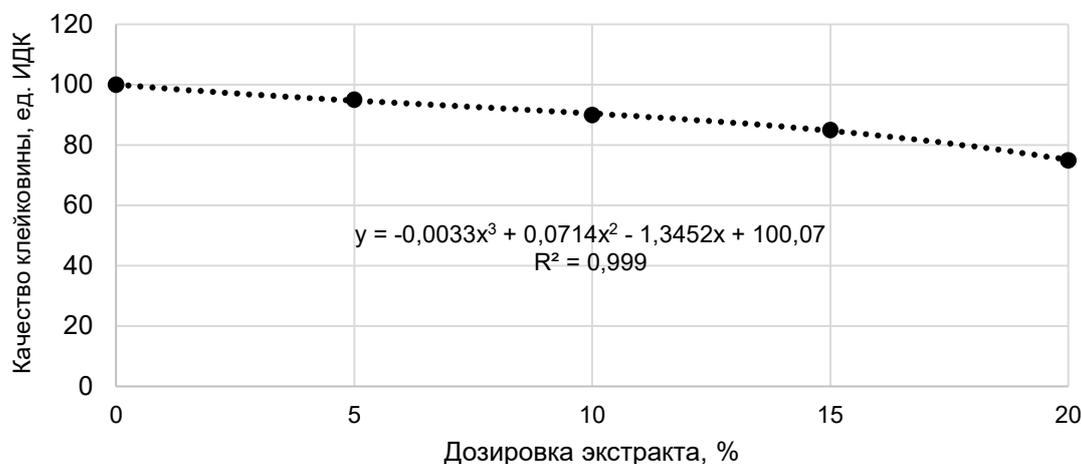


Рисунок 2 – Влияние экстракта из плодов хеномелеса на качество клейковины, ед. ИДК
Figure 2 - The effect of the extract from the fruits of henomeles on the quality of gluten, units of IDK

Было установлено, что с повышением дозировки экстракта из плодов хеномелеса от 10 до 20 % количество отмываемой клейковины снижалось на 0,66...1,66 %.

Уprungие свойства сырой клейковины в анализируемых образцах, оцениваемые с помощью прибора ИДК-3М, при внесении экстракта из плодов хеномелеса изменялись в сторону укрепления, что свидетельствует о возможности использования экстрактов в

технологии дрожжевых изделий из муки со слабой клейковиной.

Растяжимость клейковины уменьшалась на 5–25 мм в зависимости от количества вносимой добавки.

Оценку влияния экстракта плодов хеномелеса на углеводно-амилазный комплекс муки определяли по изменению показателя газообразующей способности муки (рис. 3).

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКСТРАКТА ИЗ ПЛОДОВ ХЕНОМЕЛЕСА В ТЕХНОЛОГИИ ПШЕНИЧНОГО ХЛЕБА

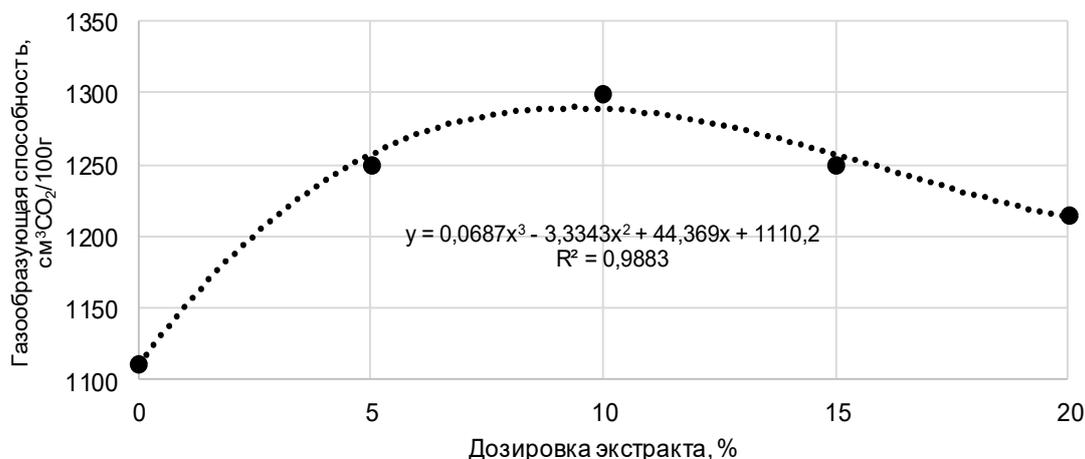


Рисунок 3 – Влияние экстракта из плодов хеномелеса на газобразующую способность муки

Figure 3 - The effect of the extract from the fruits of henomeles on the gas-forming ability of flour

При внесении 10 % экстракта из плодов хеномелеса интенсивность газообразования пшеничной муки повысилась на 16,9 % по сравнению с контрольным образцом, что является предпосылкой к сокращению времени брожения теста.

Для того чтобы комплексно оценить влияние экстрактов на углеводно-амилазный комплекс муки и процессы, протекающие во время созревания теста, определяли подъемную силу теста во время его брожения по времени всплытия шарика (рис. 4).

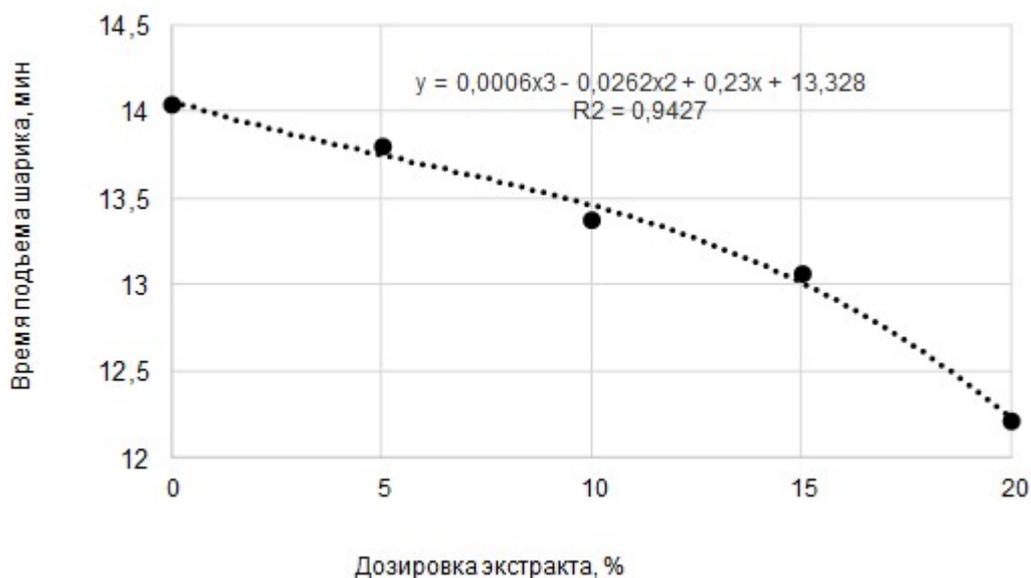


Рисунок 4 – Оценка влияния экстракта из плодов хеномелеса на подъемную силу прессованных дрожжей

Figure 4 - Evaluation of the effect of the extract from the fruits of henomeles on the lifting force of pressed yeast

Значительное улучшение показателей подъемной силы опытных образцов по сравнению с контролем указывает на перспективность использования экстрактов хеномелеса в качестве обогатителей питательной среды для развития и бродильной активности дрожжевых клеток.

Значительное улучшение показателей подъемной силы опытных образцов по сравнению с контролем указывает на перспективность использования экстрактов хеномелеса в качестве обогатителей питательной среды для развития и бродильной активности дрожжевых клеток. Основным показателем, характеризующим готовность мучных полуфабрикатов, – опары, теста – является титруемая кислотность, ее считают индикатором физиологического состояния молочнокислых бактерий, которые находятся в симбиозе с дрожжевыми клетками. Органические кислоты, которые вносятся с экстрактами и накапливаются в результате метаболизма молочнокислых бак-

Основным показателем, характеризующим

терий, создают благоприятные условия для развития дрожжей и должны подавлять развитие посторонней микрофлоры. Установлен быстрый рост кислотности (рис. 5) в процессе

брожения полуфабрикатов с содержанием экстрактов, и уже через 120–150 мин соответствие требованиям технологических инструкций к конечной кислотности опары.

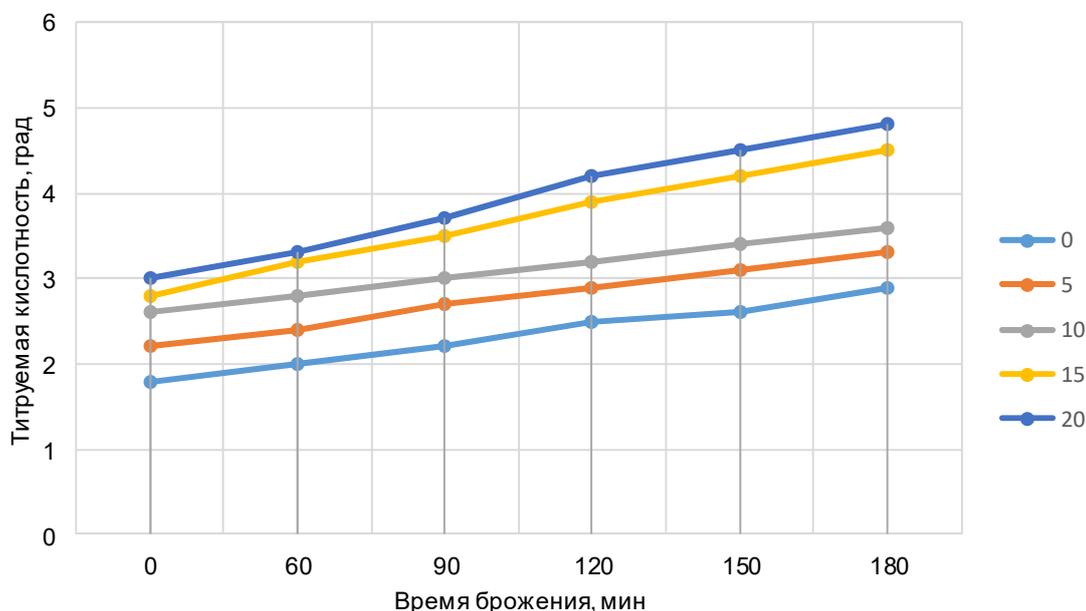


Рисунок 5 – Оценка влияния экстракта из плодов хеномелеса на накопление титруемой кислотности

Figure 5 - Evaluation of the effect of the extract from the fruits of henomeles on the accumulation of titrated acidity

Анализ результатов экспериментальных исследований свидетельствует, что использование экстрактов хеномелеса повышает показатель титруемой кислотности, что связано с начальной кислотностью сырья. Повышение титруемой кислотности активизирует процесс брожения в пределах 10–15 % внесения экстракта.

Добавление 20 % экстракта критически повышает титруемую кислотность и замедляет брожение, но факт повышения кислотности можно рассматривать как полезный для профилактики картофельной болезни, которую вызывают спорообразующие бактерии *Bacillus subtilis*.

Таким образом, результаты комплексных исследований указывают на перспективность использования экстрактов из плодов хеномелеса для интенсификации микробиологических процессов приготовления хлебобулочных изделий из пшеничного теста, улучшения их качества, прежде всего при безопарных ускоренных технологиях. Их использование позволяет получить хлебопекарные

полуфабрикаты из пшеничной муки за более короткий период с меньшими затратами ресурсов, которые будут более полно соответствовать ряду технологических требований и положительно скажутся на дальнейшем течении технологических процессов и формировании качества продукции.

С добавлением различного количества пектинового экстракта из плодов хеномелеса с целью установления максимально возможной его дозировки были выработаны опытные образцы пшеничного хлеба.

Органолептическая оценка показала, что наиболее предпочтительные показатели имели готовые изделия, которые были получены при внесении 15 % пектинового экстракта к массе муки. При этом органолептические показатели остались привычными потребителю – ровно окрашенная корка, светлый мякиш с приятным привкусом и ароматом хеномелеса

Внесение экстракта из плодов хеномелеса улучшает ряд показателей хлеба (табл. 1).

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКСТРАКТА ИЗ ПЛОДОВ ХЕНОМЕЛЕСА В ТЕХНОЛОГИИ ПШЕНИЧНОГО ХЛЕБА

Таблица 1 – Влияние экстракта из плодов хеномелеса на качество хлеба

Table 1 - The effect of the extract from the fruits of henomeles on the quality of bread

Показатель	Дозировка вносимой добавки, % к массе муки				
	0	5	10	15	20
Формоустойчивость подового хлеба	0,27±0,01	0,31±0,02	0,36±0,01	0,38±0,01	0,35±0,02
Пористость мякиша, %	68,0±1,1	72,0±1,0	75,0±0,9	75,0±1,2	72,0±1,0
Кислотность мякиша, град	2,2±0,1	2,6±0,1	2,8±0,1	3,0±0,2	3,4±0,1
Влажность мякиша, %	45,3±0,1	45,0±0,2	44,5±0,1	44,1±0,1	43,9±0,1

Установлено, что пористость хлеба с внесением пектинового экстракта из плодов хеномелеса увеличивается на 5,9–10,3 % по сравнению с контролем, формоустойчивость подовых изделий на 14,8–40,7 %. Наилучшими показателями качества отличалась проба хлеба, приготовленная с внесением пектинового экстракта из плодов хеномелеса в количестве 15 % к массе муки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований установлено, что экстракт из плодов хеномелеса целесообразно рассматривать как перспективное сырье для хлебопекарного производства, которое характеризуется ценным химическим составом, физиологическим действием. Доказано, что экстракт хеномелеса имеет высокий потенциал в решении проблем отрасли, связанных с переработкой пшеничной муки со слабой клейковиной и повышении качества хлебобулочных изделий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Егорова Е.Ю., Школьников М.Н. Дикорастущее сырье для БАД к пище // Пищевая промышленность. 2008. № 4. С. 50–52.
2. Использование продуктов переработки плодов редких культур в рецептуре многокомпонентного продукта питания функционального назначения / Т.Г. Причко [и др.] // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2021. № 2–3 (380–381). С. 31–35. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2021.2-3.8>.
3. Причко Т.Г., Дрофичева Н.В., Коваленко Н.Н. Айва японская (хеномелис маулея) – биологически ценное сырье для создания продуктов питания функционального назначения // Пищевая промышленность. 2014. № 9. С. 25–27.
4. Маляровская В.И. Биологический и хозяйственный потенциал красивоцветущих кустарников на Черноморском побережье Кавказа // Субтропическое и декоративное садоводство. 2016. № 59. С. 74–80.
5. Карелин В.С., Кормилицына Т.А., Сорокопудов В.Н. Хеномелес (*Chaenomeles (Thunb.) Lindl.*) – ценное декоративное и пищевое растение // Вестник ландшафтной архитектуры. 2021. № 28. С. 21–25.

6. Солтани Г.А., Маляровская В.И. Перспективные сорта хеномелеса (*Chaenomeles lindl.*) для использования в озеленении юга России // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2020. № 66 (6). С. 412–424. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2020-6-66-412-424>.

7. Федулова Ю.А., Куклина А.Г. Биоморфологическая характеристика новых перспективных сортов хеномелеса // Наука и Образование. 2018. Т. 1. № 1. С. 49.

8. Comprehensive characterization of *Chaenomeles* seeds as a potential source of nutritional and biologically active compounds / I.P. Turkiewicz [et al.] // Journal of Food Composition and Analysis. 2021. Vol. 102. P. 104065 <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104065>.

9. Куклина А.Г., Федулова Ю.А. Витаминные продукты с плодами хеномелеса для лечебно-профилактического и школьного питания // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2018. № 1 (48). С. 54–59.

10. Комар-Тёмная Л.Д., Гребенникова О.А. Химико-технологическая оценка продуктов переработки плодового сырья с добавлением хеномелеса // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2019. № 131. С. 95–102. <https://doi.org/10.25684/NBG.boolt.131.2019.13>.

11. Санжаровская Н.С., Храпко О.П., Авдьян А.А. Комплексная оценка плодов хеномелеса как потенциального источника пектиновых веществ // Ползуновский вестник. 2022. № 4. Т. 1. С. 86–93. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2022.04.010>.

Информация об авторах

Н. С. Санжаровская – к.т.н., доцент кафедры технологии хранения и переработки растениеводческой продукции ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина».

Н. В. Сокол – д.т.н., профессор кафедры технологии хранения и переработки растениеводческой продукции ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина».

REFERENCES

1. Egorova, E.Yu. & Shkolnikova, M.N. (2008). Wild-growing raw materials for dietary supplements to food. *Food industry*, (4), 50-52. (In Russ.).
2. Prichko, T.G. [et al.]. (2021). The use of processed fruits of rare crops in the formulation of a multicomponent functional food product. *News of higher*

educational institutions. *Food technology*, (2-3), 31-35. (In Russ.). <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2021.2-3.8>.

3. Prichko, T.G., Droficheva, N.V. & Kovalenko, N.N. (2014). Japanese quince (*Chaenomeles maulea*) - biologically valuable raw materials for the creation of functional food products. *Food industry*, (9), 25-27. (In Russ.).

4. Malyarovskaya, V.I. (2016). Biological and economic potential of beautifully flowering shrubs on the Black Sea coast of the Caucasus. *Subtropical and decorative gardening*, (59), 74-80. (In Russ.).

5. Karelin, V.S., Kormilitsyna, T.A. & Sorokopudov, V.N. (2021). *Chaenomeles* (*Chaenomeles* (Thunb.) Lindl.) - a valuable ornamental and food plant. *Bulletin of landscape architecture*, (28), 21-25. (In Russ.).

6. Soltani, G.A. & Malyarovskaya, V.I. (2020). Promising varieties of *Chaenomeles* (*Chaenomeles* Lindl.) for use in landscaping in the south of Russia. Fruit growing and viticulture in the South of Russia, (66 (6), 412-424. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2020-6-66-412-424> (In Russ.).

7. Fedulova, Yu.A. & Kuklina, A.G. (2018). Biomorphological characteristics of new promising varieties of *Chaenomeles*. *Science and Education*, (1), 49. (In Russ.).

8. Comprehensive characterization of *Chaenomeles* seeds as a potential source of nutritional and biologically active compounds / I.P. Turkiewicz [et al.] // *Journal of Food*

Composition and Analysis. 2021. Vol. 102. P. 104065 <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104065>.

9. Kuklina, A.G. & Fedulova, Yu.A. (2018) Vitamin products with *Chaenomeles* fruits for therapeutic and preventive and school nutrition. *Technology and commodity science of innovative food products*, (1), 54-59.

10. Komar-Dark, L.D. & Grebennikova, O.A. (2019). Chemical and technological evaluation of fruit raw materials processing products with the addition of *Chaenomeles*. *Bulletin of the State Nikitsky Botanical Garden*, (131), 95-102. <https://doi.org/10.25684/NBG.boot.131.2019.13>. (In Russ.).

11. Sanzharovskaya, N.S., Khrapko, O.P. & Avdjyan, A.A. (2022). A comprehensive assessment of *Chaenomeles* fruits as a potential source of pectin substances. *Polzunovsky vestnik*, (4.), 86-93. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2022.04.010>. (In Russ.).

Information about the authors

N.S. Sanzharovskaya - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Storage Technology and Processing of Plant Growing Products of Kuban State Agrarian University.

N.V. Sokol - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Storage Technology and Processing of Plant Growing Products of Kuban State Agrarian University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 16 июня 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 06 мая 2024.

The article was received by the editorial board on 15 June 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 06 May 2024.



Обзорная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК664.87

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.004

 EDN: GJWIVA

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ ВЫДЕЛЕНИЯ БЕЛКА ИЗ НУТА

Юлия Вячеславовна Апянцева ¹, Ирина Игоревна Борисова ²,
Денис Александрович Бараненко ³

^{1, 2, 3} Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО», Санкт-Петербург, Россия

¹ y.apyantseva@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-6190-3438>

² irinaborisova303@mail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6091-0143>

³ denis.baranenko@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9284-4379>

Аннотация. В мире около 80 % пищевой продукции приходится на производство из растительного сырья. Предварительные исследования состояния вопроса по производству и применению белков растительного происхождения в России позволяют выделить как наиболее перспективную зернобобовую культуру нут. Отсутствие генных модификаций является дополнительным преимуществом данной культуры.

Содержание белка в семенах нута варьируется от 20,1 до 32,4 г/100 г и представлено в основном глобулинами (60–90 %) и альбуминами (10–20 %). Благодаря высокому содержанию белка нут может заменить мясо, снизив при этом жирность готового продукта. В связи с этим нут активно используют в приготовлении вегетарианских блюд.

Главным преимуществом нута по сравнению с наиболее часто используемой зернобобовой культурой – соей – является более низкое содержание антиалиментраных факторов (ингибиторов протеаз и лектинов).

При оценке эффективности способов получения белка из нута сравнивали кислотный, солевой, щелочной гидролиз, ферментативную обработку, а также применение электрофлотации и электрокоагуляции. Вышеперечисленные технологии обладают высокой эффективностью выделения белка от 70 до 95 %.

Анализ отечественных и зарубежных литературных источников позволяет сделать вывод о том, что наиболее перспективной для дальнейшего совершенствования технологией выделения белка нута является ферментативный гидролиз. Ввиду специфики растительного сырья из различных сортов и регионов необходимо проведение дополнительных исследований, в том числе с использованием отечественных ферментных препаратов, с целью уточнения технологических параметров получения, массовой доли, аминокислотного состава и функционально-технологических свойств полученных белков нута.

Ключевые слова: зернобобовые культуры, технологии выделения белка, растительный белок, гидролиз, нут.

Для цитирования: Апянцева 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. EDN: <https://elibrary.ru/GJWIVA>.

Original article

REVIEW OF CHICKPEA ISOLATION TECHNOLOGIES

Yulia V. Apyantseva¹, Irina I. Borisova², Denis A. Baranenko³

^{1, 2, 3} ITMO University, St. Petersburg, Russia

¹ y.apyantseva@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-6190-3438>

² irinaborisova303@mail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6091-0143>

³ denis.baranenko@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9284-4379>

Abstract. *In the world, about 80% of food products are made from plant raw materials. Preliminary topic studies on the production and use of proteins of plant origin in Russia make it possible to suggest chickpeas as the most promising leguminous crop. The absence of genetic modifications is an additional advantage of it.*

The protein content in chickpea seeds varies from 20,1 to 32,4 g/100 g and is represented mainly by globulins (60-90%) and albumins (10-20%). Due to its high protein content, chickpeas can replace meat, while reducing the fat content of the finished product. In this regard, chickpeas are actively used in the preparation of vegetarian dishes.

The main advantage of chickpeas compared to the most commonly used Fabales crop, soybean, is the lower content of anti-nutritive factors (protease inhibitors and lectins).

When assessing the effectiveness of methods for obtaining protein from chickpeas, acid, salt, alkaline hydrolysis, enzymatic treatment, as well as the use of electro-floatation and electrocoagulation were compared. The above technologies have a high protein isolation efficiency of 70 to 95%.

Analysis of domestic and foreign studies allows us to conclude that the most promising technology for isolating chickpea protein and further improvement is enzymatic hydrolysis. Due to the specifics of plant raw materials from different varieties and regions, it is necessary to conduct additional research, including using domestic enzyme preparations, in order to clarify the technological parameters of production, mass fraction, amino acid composition and functional and technological properties of the obtained chickpea proteins.

Keywords: *legumes, protein isolation technologies, vegetable protein, hydrolysis, chickpeas.*

For citation: Apyantseva, Y.V., Borisova, I.I., Baranenko, D.A. (2024). Review of chickpea isolation technologies. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 19-36. (In Russ.). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.02.004. EDN: <https://elibrary.ru/GJWIVA>.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие современного продовольственного рынка сопровождается непрерывным расширением спектра промышленной переработки протеинового сырья и поиском новых, потенциально пригодных для этого возобновляемых сырьевых ресурсов.

На международном уровне на производство продуктов из растительного сырья приходится около 80 %. За последние десятилетия большую популярность приобрел растительный белок, выделяемый из зернобобовых культур.

Растительный белок важен для организма человека, в отсутствие алиментарных факторов он легко и быстро усваивается и содержится в своем составе практически все заменимые и незаменимые аминокислоты. Преимуществом растительного белка является возможность его употребления людьми,

ограниченными в получении протеинов животного происхождения.

Одной из высокобелковых зернобобовых культур является нут, уступающий по содержанию протеинов сое (массовая доля белка нута на 100 г составляет 20 г, сои – 36 г). Преимущества нута как зернобобового растения описаны еще несколько десятков лет назад. Несмотря на ряд схожих для зернобобовых культур недостатков в виде наличия ингибиторов протеаз, нут обладает наименьшим содержанием веществ, тормозящих выработку протеолитических ферментов. Нут выгодно отличается от сои практически полным отсутствием потребительского негативного отношения, кроме того, он привычен потребителям, знакомым с восточной кухней и хумусом.

Оценивая имеющиеся преимущества нута, можно сделать вывод о перспективности применения данного растительного сырья.

Однако на данный момент требуется обобщение, расширение и систематизация имеющихся сведений по высококачественной переработке нута с целью получения максимального выхода белка и сохранения его биологической ценности и функционально-технологических свойств. На сегодняшний день существует несколько технологий выделения протеинов из зернобобовых культур, основанных на различии физико-химических свойств протеинов растительного сырья.

В данной обзорной статье изучены технологии выделения белка из зернобобовых культур, в том числе нута, сделаны выводы о наиболее эффективных методах получения растительных протеинов.

МЕТОДЫ

Поиск информации по выбранной теме исследования проводили при помощи изучения отечественных и зарубежных литературных источников через поисковую систему научных публикаций «Google Scholar» и единые библиографические реферативные базы данных рецензируемой научной литературы «Scopus», «Web of Science» и «Elsevier». Также был использован поиск информации по ключевым словам в научной электронной библиотеке «Elibrary.ru». При изучении литературных источников приоритет отдавали журналам с высоким квартилем. Для поиска информации по выбранной теме первично рассматривали научные публикации за последние пять лет (2018–2023 гг.). Более ранние научные работы изучали с целью понимания фундаментальных исследований и в случае отсутствия новых экспериментов по определенным моментам выбранной темы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. Белки и белковые компоненты зернобобовых культур

Состав белков зернобобовых культур характеризуется неоднородностью, многообразием групп и наличием комплексов с соединениями небелковой природы. Белки отличаются неодинаковой растворимостью, молекулярной массой, величиной суммарного заряда молекулы и относительной стабильностью. Исходя из вышеперечисленных свойств эффективность выделения белков существенно зависит от способа и происхождения применяемого экстрагента.

В зависимости от растворимости белка выделяют в 4 основные группы: альбумины и

легкие глобулины, глобулины, проламины и глютелины. Альбумины и легкие глобулины хорошо растворимы в воде при pH 4–9 и слабых солевых растворах, глобулины – в солевых растворах, проламины – в высокопроцентном спирте (50–90 %), глютелины – в слабых растворах щелочей и кислот. Также для каждой группы белка характерны свои особенности осаждения протеинов, что важно учитывать в технологическом процессе [24].

Из растительного сырья выделяют следующие виды белковых компонентов:

- муку с содержанием белка до 50 %;
- концентраты с содержанием белка до 65 %;
- изоляты с содержанием белка до 99 %.

Также выделяют белковые текстураты, получаемые из муки, концентратов и изолятов. Особенность текстуратов в их структуре: белок представлен в виде фрагментов параллельных волокон, по типу мышечных либо в виде многослойной пористой структуры.

Концентраты и изоляты растительных белков с обезличенным вкусом и запахом являются экономически более целесообразными формами белковых продуктов, что позволяет использовать их в больших дозировках. Также изолят за счет высокого содержания белка считается наиболее очищенным продуктом без углеводов и минеральных веществ. Благодаря вышеперечисленным качественным характеристикам изолят можно отнести к перспективной форме белоксодержащего компонента для производства пищевых продуктов [24].

Что касается выбранного для изучения сырья – нута, авторы отмечают, что в составе данной зернобобовой культуры в среднем на сухое вещество содержит 24 % белка, 3,5 % зольных элементов, 6 % жира, 51 % крахмала, 4 % клетчатки [9, 14, 24].

2. Технологии выделения белка из зернобобовых культур

2.1 Подготовка сырья

Для наиболее эффективного выделения белка из зернобобовых культур используют различные способы подготовки растительного сырья. Например, при наличии белка в межклеточной жидкости чаще всего достаточно механического воздействия в виде отжима тканевого сока. Однако стоит отметить, что наиболее эффективное выделение белка возможно при равномерном и тщательном измельчении сырья с целью разрушения клеточных мембран (например, гомогенизации).

В случае термостабильности растительной структуры необходимо полное разруше-

ние клеток растений. Для этого проводят процесс замораживания и оттаивания ткани, в результате чего образующиеся кристаллы льда разрушают оболочки клеток, что приводит к увеличению доступности белка [7, 18].

Одним из способов выделения белка из растительного сырья также является ультразвуковая обработка. При использовании данного метода следует учитывать, что при изменении мощности источника воздействия и частоты ультразвуковых колебаний возможно не только выделение белка, но и его разрушение. Поэтому при использовании ультразвуковой обработки важно правильно подобрать режимы эксплуатации оборудования.

Для относительно устойчивых белков возможно применение химических веществ, например ацетона и раствора глицерина. Однако применения непивцевых экстрагентов желательнее максимально избегать из-за необходимости тщательного контроля соблюдения параметров пищевой безопасности. Предварительная лиофилизация сырья позволяет интенсифицировать извлечение белка [12].

Для выделения белка из нута авторы предлагают использовать следующие методы его предварительной обработки: замачивание, шелушение, варку, обжаривание, проращивание, пропаривание, обезжиривание.

Замачивание в горячей или холодной воде позволяет размягчить внешние слои семян нута, тем самым облегчая мокрое шелушение. Сухое шелушение семян обычно производят путем воздушной сепарации шелухи расколотых семян. Как замачивание, так и шелушение приводят к улучшению извлечения белка и способствуют снижению количества антипитательных веществ (ингибиторов протеолитических ферментов, фитиновой кислоты, дубильных веществ) [3].

В отличие от других зернобобовых культур (например, гороха, чечевицы и фасоли с массовой долей жира до 3 %) в своем составе нут содержит около 4–7 % жира, что затрудняет процесс выделения белков. Для решения данной проблемы авторы предлагают использовать обезжиривание сырья при помощи гексана по Фолчу, Лису и Стенли, что упрощает процесс получения и протеинов и увеличивает их чистоту. Перед обезжириванием сырье подвергают гомогенизации в хлороформе / метаноле. Также обезжиривание возможно при помощи применения мощной ультразвуковой обработки. Данный способ имеет преимущество в виде отсутствия изменений пептидного профиля растительного сырья [5]. Обращает на себя внимание необходимость внедрения «зелёных» и безопасных для потреби-

теля способов обезжиривания без использования органических растворителей.

Для проращивания рекомендуется очищенные семена нута замочить в солевом растворе (при 25 °С в течение 12 ч) и затем проращивать при 30 °С в течение 48 ч. Далее нут сушат и измельчают, после чего подвергают дальнейшей обработке для выделения белка. Считается, что проращивание семян нута усиливает питательные, функциональные и антиоксидантные свойства белков [3]. Авторы исследования считают, что проращивание семян нута повышает растворимость протеинов за счет эндогенной ферментативной активности во время проращивания с молекулами белка на поверхности, что, в свою очередь, усиливает эмульгирующую способность. По сравнению с нативными белками протеины, выделенные из пророщенных семян нута, обладают более высокой водоудерживающей и жирудерживающей способностью [1, 17].

При выборе метода предварительной обработки нута следует учитывать вероятность изменения структуры белков, влияющей на конечные свойства протеинов (пищевые, физические, функциональные). Функциональность белка является важным аспектом при оценке потенциального применения выделенного протеина, поэтому важно понимать изменения в структурных и функциональных свойствах белков нута при выборе способа обработки сырья [1].

2.2 Способы выделения белка

В промышленных технологиях получения белка из растительного сырья количество комбинаций применяемых способов очень велико, поэтому даже при производстве одного вида продукта различные технологии и оборудование у разных производителей приводят к неидентичности их состава [29].

Технология производства белковых продуктов из бобовых культур требует соблюдения санитарно-гигиенических норм, в том числе гигиенических требований по снижению активности антинутриентов в готовом продукте [6].

На выход массовой доли белка в ходе процесса выделения протеинов влияет множество факторов: ионная сила растворов, температура и pH среды, размер и форма молекул, их молекулярная масса, суммарный заряд молекулы, отношение растворителя к массе белков и/или к массе сырья, растворимость белков, устойчивость молекул протеинов к денатурирующим агентам.

Процессы производства белковых продуктов (муки, изолята, концентрата) могут

быть классифицированы на «сухие» и «жидкостные» [10, 24].

«Сухие» процессы включают помолы и воздушную сепарацию, предназначенную для разделения частиц зерен зернобобовых культур по размеру и плотности на две фракции: легкую – белковую, тяжелую – крахмальную. После фракционирования муки методом воздушной сепарации тяжелую (крахмальную) фракцию повторно сепарируют и получают вторую белковую и более «очищенную» крахмальную фракцию. Эффективность отделения белка от крахмала определяется его процентным содержанием в обеих фракциях от общего содержания белка в муке. Сухие методы имеют преимущество по сравнению с жидкостными методами экстракции. При них сохраняется естественная функциональность белков, на получение требуется меньшее количество энергии и не используется вода. Сухие процессы производства белковой муки или концентратов отличаются относительно низким выходом белков (40–75 %) [4, 23, 24].

«Жидкостные» методы обеспечивают получение белковых концентратов с массовой долей протеинов до 65 % и изолятов до 99 % и подразделяются на кислотные, щелочные, солевые, фильтрационные и ферментативные.

Классическая схема выделения белкового изолята включает следующие этапы: экстрагирование белков, последующее добавление кислоты для осаждения белка в изoeлектрической точке, центрифугирование, промывание и высушивание [25].

На данный момент кислотный метод предусматривает использование соляной или серной кислоты, но для получения гидролизованных белков как усилителей вкуса. При кислотном гидролизе часть незаменимых аминокислот (триптофан, метионин, цистин и цистеин) разрушается, а глутамин и аспарагин могут превращаться в глутаминовую и аспарагиновую кислоты соответственно. Реакция гидролиза может быть ускорена повышением не только температуры, но и концентрации кислот. Минимальная концентрация кислоты, при которой начинается растворение полисахаридов, зависит от их структуры. При действии сильных концентрированных минеральных кислот на целлюлозу и гемицеллюлозу наблюдается их сильное набухание, после чего начинается их постепенное растворение [2, 24].

Для выделения из осажденного белка отдельных фракций применяют методику

Осборна, благодаря которой возможно последовательное извлечение альбуминовой, глобулиновой и глютелиновой фракций белка за счет варьирования ионной силы раствора, природы экстрагента и величины pH.

Из-за особенностей состава растительного сырья параметры процесса экстракции подбираются с учетом используемого вида зернобобовых культур.

Согласно информации авторов, фракционный состав нута представлен альбуминами (12 %), глобулинами (80 %) и глутелинами (8 %) [18, 21, 25].

Чаще всего для выделения водорастворимой фракции (альбуминов) в качестве экстрагента используют воду, для солерастворимой (глобулинов) раствор NaCl, щелочерастворимой (глутелинов) раствор NaOH. С целью выделения всех белковых фракций применяют комбинацию растворов хлорида натрия и гидроксида натрия. В качестве сырья чаще всего используется обезжиренная мука. Характеристика белковых фракций, выделенных из растительного сырья, представлена в таблице 1 [19, 20, 24].

Наиболее высокий выход белка авторы отметили при выделении всех фракций белка 80–92 %, а также фракции альбуминов + глобулинов – 73–80 %, полученных солевым способом экстракции [15, 24].

Для выделения белка из зернобобовой культуры авторы обезжиренную муку из нута суспендировали в деионизированной воде с использованием 0,1 N NaOH и 0,1 N HCl. Суспензию при заданных значениях pH перемешивали в течение 1 ч для определения оптимальной растворимости. Далее проводили центрифугирование, собирали супернатант и подкисляли среду для осаждения белка и определения его изoeлектрической точки. Осадок центрифугировали, осажденные белковые фракции собирали, нейтрализовали и сушили вымораживанием [5, 8].

В процессе щелочного гидролиза белковые продукты размолот зерна обрабатывают растворами гидроксидов металлов с pH 9–11. Затем сепарацией отделяют нерастворимые вещества, осаждают белки в изoeлектрической точке при pH 4,2 и центрифугируют. При щелочной экстракции некоторые ученые предварительно солюбилизируют белки нагреванием с последующим добавлением щелочных агентов (Ca(OH)₂, Na, K) и поддержанием температуры до желаемого значения (27–55 °C).

Таблица 1 – Рекомендуемые технологические параметры для извлечения фракций белков гороха и нута [24]

Table 1 - Recommended technological parameters for extracting pea and chickpea protein fractions [24]

Показатели	Фракции белка				
	альбумины	глобулины	альбумины + глобулины	глютелины	все фракции
Экстрагент	H ₂ O	0,5M NaCl		0,2M NaOH	0,5M NaCl + 0,2M NaOH
Гидромодуль	1:10			1:8	1:10
pH	5,0–7,0			9,0–11,0	
Продолжительность экстракции, мин	30	60			
Температура, °C	35–40	50–55		45–50	40–50

Экстракцию или гидролиз продолжают в течение нескольких часов до заданной степени, продукт выпаривают, пастеризуют и сушат распылением. Достаточно часто в пищевой промышленности используются концентраты, полученные щелочной экстракцией, с содержанием белка более 70 %. При щелочной экстракции или гидролизе некоторые аминокислоты (серин, треонин) могут разрушаться из-за рацемизации аминокислот, приводящей к снижению усвояемости белка [22, 24, 28].

Известен метод выделения белка из зернобобовых культур, описанный Стоуном. Белок выделяли из измельченного сырья, которое подвергалось обезжириванию смешиванием с гексаном (1:3 вес/объем) в течение 1 ч. Затем гексану дают испариться в течение ночи. Обезжиренную муку диспергируют в дистиллированной воде и доводят до pH 9,5 при помощи 0,1 NNaOH. Далее проводят диспергирование в течение 1 ч и затем центрифугируют смесь при 4500 g в течение 20 мин при 4 °C. После центрифугирования pH доводят до 4,5 с помощью 1 NHCl для осаждения белков. Белки восстанавливают центрифугированием при 4500 g в течение 20 мин при 4 °C и супернатант удаляют. Осадок промывают дважды с использованием дистиллированной воды (1:10 мас./об.) с последующим центрифугированием при 4500g в течение 10 мин. Затем промытый осадок лиофилизируют в виде белковых изолята. Выход белка составляет около 80 % [8, 11].

К приемам совершенствования технологий выделения белка относится солевая экстракция, при которой глобулины отделяют от альбуминов в виде осадка. Обычно в процедуре экстракции белки изначально растворяют в водном растворе NaCl при нейтральном pH, потом осаждают. Процесс осаждения белка проводят либо разбавлением водой

для понижения ионной силы, либо удалением соли диализом. При этом белковые продукты, полученные из растительного сырья с помощью щелочной экстракции, могут иметь более высокую массовую долю белка (около 86 %) по сравнению с теми, которые получены солевой экстракцией (около 81 %) [24, 29].

Высаливание является классическим методом выделения белков. Чаще всего для разделения белков методом высаливания используют разные концентрации солей сульфата аммония – (NH₄)₂SO₄. Чем выше растворимость белка, тем большая концентрация соли необходима для его высаливания [13, 15, 22].

Фильтрация на мембранах с давлением в качестве движущей силы разделения является методом выделения белков, представляющим собой их фракционирование. Фильтрацию подразделяют на микро- и ультрафильтрацию. Для повышения количества извлеченного белка часто используют оба метода после щелочной или кислотной экстракции. Выделенные белковые препараты отличаются высокими функциональными свойствами и меньшим количеством антипитательных веществ, по сравнению с теми, которые выделены осаждением в изоэлектрической точке [24].

Одним из современных процессов получения белков является ферментация. Использование бактериальных или грибных протеаз имеет большое значение, поскольку они, иницируя незначительный частичный распад белков, облегчают отделение полипептидов с разной молекулярной массой от остальных компонентов, таких как клетчатка и гемицеллюлозы. Также ферментация способствует уменьшению содержания антипитательных веществ в белковых продуктах и улучшению поглощения минералов путем образования органических кислот, которые

образуют с ними растворимые комплексы, делая минералы недоступными для взаимодействия с фитатами. При этом условия гидролиза мягкие, а ферменты более специфичные. Преимущество ферментативного гидролиза также является использование специфичных ферментов, благодаря которым возможно прицельное воздействие на те или иные компоненты системы. Благодаря ферментной обработке растительного сырья процесс выделения протеинов происходит быстро, мягко и с высоким сохранением функциональности [26, 27, 28].

Было доказано, что твердофазная ферментация белков нута оказалась эффективной для снижения антипитательных факторов (альфа-галактозидов и фитиновой кислоты) до 88,3–99,1 % и увеличения водоудерживающей способности при уменьшении пенообразования [5].

Главным недостатком известных способов извлечения белковых изолятов (за исключением турбосепарации) является необходимость применения агрессивных веществ, для элиминации которых требуется многократная промывка водой. Это создает экологические проблемы и значительно удорожает получаемый изолят [22, 27].

Альтернативой вышеперечисленным способам выделения белка является технология получения протеинов зернобобовой культуры при помощи применения молочной сыворотки. Авторы выбрали данный компонент ввиду схожести состава молочной сыворотки с аминокислотным составом белков мышечной ткани человека. Дополнительно выделено преимущество сыворотки в виде низкого значения pH, что позволило авторам провести процесс гидролиза, не используя кислоты или щелочи. Однако из описания исследования можно сделать вывод, что данная технология применима при отсутствии необходимости выделения белка зернобобовых в чистом виде, так как в технологическом процессе присутствуют протеины молочной сыворотки. Авторы отмечают, что данный метод гидролиза является процессом с щадящими режимами обработки, позволяющий максимально сохранить белковую структуру. Также при таком методе выделения белка сокращается время проведения гидролиза и удешевляется технологический процесс [21, 23].

Для выделения белков широко используется метод молекулярных сит, которые представляют собой нанопористые материалы с очень мелкими порами (размером 0,2–2 нм). Разница между этими «ситами» в том, что крупные частицы не остаются на поверхности материала сита, а обтекают его

гранулы, в то время как мелкие частицы примесей диффундируют через нанопоры глубоко в сита и тем самым задерживаются.

Также был предложен метод выделения белка из нута при помощи применения метода электрофлотации и электрокоагуляции. Суть процесса получения протеинов заключается в том, что на их поверхности происходит адгезия газовых пузырьков водорода с адсорбированным слоем ионов за счет электролитической генерации. В результате данного процесса комплекс «пузырек газа–ионизированная белковая частица» оказывается на поверхности раствора. Впоследствии данный комплекс коагулируют. Совмещение процессов электрофлотации и электрокоагуляции позволяет получать высокий выход белка. Исследование авторов показало, что электрофлотокоагуляционный метод извлечения нутевого белка более эффективен по сравнению с химическим способом [22, 27].

Неоспоримым преимуществом электрофлотации и электрокоагуляции является возможность благодаря полиэлектролитным свойствам белков на стадии их выделения из раствора осуществлять безреагентную регулировку pH среды путем регулирования плотности тока. Большим преимуществом методов электрофлотации и электрокоагуляции также является низкая концентрация фонового электролита, вводимого в раствор для обеспечения требуемой электропроводности.

Для обеспечения хорошей электропроводности растворов авторы использовали КОН. В качестве электродных материалов представлены платина, стекловидный углерод и графитовая фольга. В качестве вспомогательного электрода использовался электрод, изготовленный из фольги со сжатым графитом, покрытой полипропиленовой тканью [18]. Опытным путем была подобрана концентрация раствора белка нута (15 мг/мл), при которой процесс электрофлотационной коагуляции протекал интенсивно и стабильно, обеспечивался наибольший массовый выход белков из раствора и высокая степень их извлечения.

Авторами было обнаружено, что максимальная эффективность извлечения белка для растворов белка нута достигается при плотности тока $\sim 105 \text{ A/m}^2$ в течение 30 мин [18, 20, 25].

Во многих методах очистки используется снижение растворимости белков при pH, близком к значению изоэлектрической точки. Ряд белков в кристаллическом состоянии получают путем повышения концентрации солей в белковых растворах, приведенных к

изоэлектрической точке. Часто для фракционирования и очистки белков используются органические растворители. Так как они способны денатурировать многие белки, то их применяют при низких температурах и со строго ограниченной продолжительностью действия.

Для выделения и очистки белков применяется целый ряд методов, основанных на различиях в весе и размерах молекул белков. Наиболее распространенным из таких методов является ультрацентрифугирование. Для разделения белков часто используют хроматографические методы, основанные на распределении веществ между двумя фазами, одна из которых подвижная, а другая неподвижная. В основу хроматографических методов положены разные принципы: гель-фильтрации, ионного обмена, адсорбции, биологического сродства.

Довольно широкое применение получили методы очистки, основанные на сродстве белков к определенным адсорбентам. Основным из таких методов является адсорбционная хроматография. Метод основан на разделении белков, различающихся суммарным зарядом при определенных значениях pH и ионной силы раствора. При пропускании раствора белков через хроматографическую колонку, заполненную твердым пористым заряженным материалом, часть белков задерживается на нем в результате электростатических взаимодействий [24, 29]. Стоит отметить, что эти методы усложняют и удорожают процесс производства и в настоящее время пока не вполне подходят для получения массовой пищевой продукции.

Чтобы повысить питательные и функциональные свойства, изолят белка нута можно подвергнуть нескольким физическим, и биохимическим обработкам. Например, применение алкалазы приводило к улучшению растворимости белка, особенно при pH, близком к изоэлектрической точке. Небольшая степень гидролиза (4 %) увеличивала эмульгирующую способность и стабильность белкового изолята [1].

Ряд авторов занимаются математическим моделированием и оптимизацией процессов извлечения белка [8, 19, 20]. Был изучен потенциал трех добавок, включая дитиотрейтол (DTT), додецилсульфат натрия (SDS) и Твин 20. Добавление этих веществ привело к повышению эффективности экстракции [20].

Обработка ультразвуком позволила увеличить растворимость, пенообразующую и водоудерживающую способности, показатель

эмульгирования и разрывную силу геля белкового изолята нута, индуцированную нагреванием [1, 16, 17].

ВЫВОДЫ

Существует большое количество способов выделения белка из зернобобовых культур. После изучения отечественных и зарубежных источников научной литературы можно сделать вывод о том, что исследование классических методов получения протеинов, их совершенствование, а также разработка новых способов выделения белка по-прежнему являются актуальными. В том числе, необходим поиск решений по отказу от органических растворителей и повышению эффективности процессов.

При выборе используемого способа следует учитывать видовые особенности растительного сырья и факторы, влияющие на выделение из него белка (значение pH среды, ионную силу раствора, температуру, продолжительность извлечения, состав экстрагента и т.д.). Важно учитывать характерные особенности белка выбранного сырья, например, состав белковых фракций, от которых зависит подбор экстрагентов, термостабильность и устойчивость протеинов в кислых и щелочных растворах.

Важным технологическим этапом перед процессом выделения белка является пробоподготовка растительного сырья, которая также зависит от вида зернобобовых культур. Для более высокого выхода белков нута сырье необходимо обезжирить.

Некоторые классические способы достаточно эффективны при получении белка нута, но они неоднозначны с точки зрения экологической и пищевой безопасности. Более современные способы, находящиеся в разработке и пока не так широко внедренные, также показывают высокий выход белка. В сводной таблице 2 размещены краткие результаты изучения эффективности выделения белка при помощи различных технологий.

Необходимо проведение дальнейших экспериментальных исследований по сравнению эффективности классических способов выделения белка из нута и более современных вариантов, а именно кислотного, щелочного, ферментативного гидролиза и электрофлотации и электрокоагуляции. Кроме того, необходима всесторонняя оценка параметров качества и безопасности, а также анализ физико-химических показателей получаемой продукции.

Таблица 2 – Сравнение эффективности методов выделения белка из нута [18, 23, 25].

Table 2 - Comparison of the effectiveness of methods for isolating protein from chickpeas [18, 23, 25]

Способ	Средняя массовая доля белка, %
Кислотный гидролиз	80
Щелочной гидролиз	70
Солевой гидролиз	80
Ферментативный гидролиз	94
Электрофлотационный и электрокоагуляционный	85

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Anusha R. [et al.]. Process optimization of chickpea (*Cicer Arietinum L.*) seed protein isolates for functional foods // *Research Journal of Biotechnology* Vol. 2021. Т. 16. С. 2.

2. Biotechnological process for producing protein products from chickpeas with a high biological value / D. Kulikov [et al.] // *International Multidisciplinary Scientific Geo Conference Surveying Geology and Mining Ecology Management*. 2020. Vol. 2020. № 6.1. P. 175–181. <https://doi.org/10.5593/sgem2020/6.1/s25.023>.

3. Boukid F. Chickpea (*Cicer arietinum L.*) protein as a prospective plant based ingredient: a review // *International Journal of Food Science & Technology*. 2021. Т. 56. № 11. С. 5435–5444. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15046>.

4. Composition on the basis of plantbased proteins with the use of transglutaminase / V. Kolpakova [et al.] // 18 *International Multidisciplinary Scientific Geo Conference SGEM: Conference proceedings*. Albena, 2018. P. 119–125. <https://doi.org/10.5593/sgem2018/6.2/S25.016>.

5. El-Sohaimy Sobhy & Brennan Marageta & Darwish Amira & Brennan Charles. (2021). Chickpea Protein Isolation, Characterization and Application in Muffin Enrichment. *International Journal of Food Studies*. 57-71. <https://doi.org/10.7455/ijfs/10.SI.2021.a5>.

6. Ezeagu I.E., Gowda L.R. Protein extractability, fractionation and amino acid composition of some leguminous seeds found in Nigeria // *Journal of food biochemistry*. 2006. Т. 30. №. 1. С. 1-11. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2005.00024.x>.

7. Karaca A.C. Modification of legume proteins for improved functionality // *Grain and seed proteins functionality* / J.C. Jimenez-Lopez editor. Intech Open, 2021. <https://doi.org/10.5772/intechopen.96274>.

8. McHardy C., Kammegne T.D., Jänich I. Energy-efficient ultrasound-assisted extraction of food proteins from the microalga *C. vulgaris* at elevated static pressure // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2021. Т. 73. С. 102797. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102797>.

9. Mondor M. *Pea* // *Pulses* / A. Manickavasagan, P. Thirunathan editors. Cham: Springer, 2020. P. 245–273. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41376-7_14.

10. Nikhil Patil. Chickpea protein: A comprehensive review on nutritional properties, processing, functionality, applications, and sustainable impact. *The Pharma Innovation Journal* 2023; 12(7): 3424-3434.

11. Pasupuleti V.K., Braun S. State of the art

manufacturing of protein hydrolysates // *Protein hydrolysates in biotechnology* / V.K. Pasupuleti, A.L. Demain editors. Dordrecht: Springer, 2010. P. 11–32. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6674-0_2.

12. Patharkar S.R. Process isolation of protein isolate from chick pea (*Cicer arietinum*) with the solubility and color characteristics *International Journal of Chemical Studies* 2019; 7(1): 1113-1118.

13. Paviyuk R., Pogarska V., Kotuyk T., Balabai K. Development of nanotechnology for processing chickpeas into protein plant supplements and their use to obtain a new generation of confectionery. *Technology and equipment of food production*. 2020. № 6/11 (108). P. 27–36. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217928>.

14. Roy F., Boye J.I., Simpson B.K. Bioactive proteins and peptides in pulse crops: Pea, chickpea and lentil // *Food Research International*. 2010. Vol. 43. № 2. P. 432–442. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.002>.

15. Serventi L., Vittadini E., Vodovotz Y. Effect of chickpea protein concentrate on the loaf quality of composite soywheat bread // *LWT – Food Science and Technology*. 2018. Vol. 89. P. 400–402. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.012>.

16. Singh A., Chahal H.S. Organic grain legumes in India: potential production strategies, perspective, and relevance // *Legume crops – prospects, production and uses* / M. Hasanuzzaman editor. Intech Open, 2020. <https://doi.org/10.5772/intechopen.93077>.

17. Singhal A., Karaca A.C., Tyler R. & Nickerson M. (2016). Pulse Proteins: From Processing to Structure-Function Relationships. *Grain Legumes*. <https://doi.org/10.5772/64020>.

18. Timofeev I. [et al.]. Mathematical Models and Methods for Research and Optimization of Protein Extraction Processes from Chickpea and Curd Whey Solutions by Electroflotation Coagulation Method // *Mathematics*. 2022. Т. 10. № 8. С. 1284.

19. Yue J. [et al.]. One-step extraction of oat protein by choline chloride-alcohol deep eutectic solvents: Role of chain length of dihydric alcohol // *Food Chemistry*. 2022. Т. 376. С. 131943. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131943>.

20. Zhao J. [et al.]. Improved protein extraction from thermally processed shrimp (*Litopenaeus vannamei*) for reliable immunodetection via a synergistic effect of buffer additives // *LWT*. 2022. Т 154. С. 112790. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112790>.

21. Антипова Л.В. Оценка потенциала источников растительных белков для производства продуктов питания / Л.В. Антипова,

Л.Е. Мартемьянова // Пищевая промышленность. 2013. № 8. С. 10–12.

22. Казанцева И.Л., Бутова С.Н. Развитие глубокой переработки местного зернобобового сырья в условиях импортозамещения // Инновационные технологии в пищевой промышленности. 2016. С. 28–31.

23. Камербаев А.Ю., Сви́дерская Д.С., Абраменко А.П. Разработка технологии получения белкового гидролизата из нута // Пищевая промышленность. 2016. № 3. С. 41–43.

24. Колпакова В.В. [и др.]. Пищевые и кормовые белковые препараты из гороха и нута: производство, свойства, применение // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 2. С. 333–348.

25. Компанцев Д.В. [и др.]. Белковые изоляты из растительного сырья: обзор современного состояния и анализ перспектив развития технологии получения белковых изолятов из растительного сырья // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 1. С. 58–58.

26. Кравцова А.Г., Хабибулина Н.В., Красноштанова А.А. Получение очищенной фракции белка нута методом ультрафильтрации // Символ науки. 2022. № 5–1. С. 14–19.

27. Мартемьянова Л.Е., Антипова Л.В. Применение ферментных препаратов в получении растительных белков // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2013. № 1 (55). С. 105–109.

28. Суняйкина А.В., Агафонова С.В. Получение, исследование состава и биологической ценности белковой пасты из нута // Вестник Международной академии холода. 2023. № 4. С. 60–66.

29. Чурсина О.А. [и др.]. Сравнительная оценка растительного сырья с целью получения белкового препарата для виноделия // Магарач. Виноградарство и виноделие. 2017. № 2. С. 44–47.

Информация об авторах

Ю. В. Апыянцева – аспирант факультета биотехнологий Университета ИТМО.

И. И. Борисова – аспирант факультета биотехнологий Университета ИТМО.

Д. А. Бараненко – кандидат технических наук, доцент факультета биотехнологий Университета ИТМО.

Information about the authors

Y.V. Apyantseva - post-graduate student, faculty of biotechnology, ITMO University.

I.I. Borisova - post-graduate student, faculty of biotechnology, ITMO University.

D.A. Baranenko - Candidate of Technical Sciences, associate professor, faculty of biotechnology, ITMO University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 25 сентября 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 06 мая 2024.

The article was received by the editorial board on 25 Sep 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 06 May 2024.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 663.1

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.005



РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЛИОФИЛИЗАЦИИ И ОПТИМИЗАЦИЯ КРИОПРОТЕКТОРОВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ СОВМЕСТНОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ БАКТЕРИЙ *VACILLUS COAGULANS* И *STREPTOCOCCUS THERMOPHILUS*

Ашихмина Мария Сергеевна¹, Краснова Василиса Федоровна²,
Орлова Ольга Юрьевна³, Уласевич Светлана Александровна⁴,
Скорб Екатерина Владимировна⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} «Национальный исследовательский университет ИТМО» Санкт-Петербург, Россия

¹ ashikhmina@infochemistry.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8545-1051>

² krasnova@infochemistry.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3725-261X>

³ oousova@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2292-2236>

⁴ saulasevich@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1753-911X>

⁵ skorb@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0888-1693>

Аннотация. Микроорганизмы играют важную роль в различных областях, включая биотехнологию, пищевую промышленность, фармацевтику и экологию. Однако сохранение жизнеспособности и генетической стабильности микроорганизмов при хранении и транспортировке представляет собой сложную задачу. Для обеспечения эффективной работы и получения достоверных результатов необходимо разработать оптимальный метод консервации культур микроорганизмов. Целью исследования является разработка эффективной технологии лиофилизации и подбор криопротекторов для улучшения совместного культивирования *Vacilluscoagulans* и *Streptococcusthermophilus*. Совместное культивирование этих бактерий необходимо для получения высококачественных продуктов с желаемыми свойствами. Правильная технология лиофилизации и добавление криопротекторов позволили значительно снизить ущерб, наносимый замораживанием, и успешно совместно культивировать два штамма бактерий. Одним из наиболее эффективных криопротекторов в данном исследовании была признана сахароза. Наилучший результат она показала при ее добавлении в среду в соотношении 3:1 с бактериальной массой. Для оценки эффективности сахарозы как криопротектора были проведены квантово-химические расчеты. Результаты расчетов подтвердили, что сахароза является эффективным криопротектором для бактерий *Vacilluscoagulans* и *Streptococcusthermophilus*. Следует отметить, что разработка оптимального метода консервирования имеет решающее значение для эффективной работы и получения достоверных результатов при выращивании культур микроорганизмов. Проведенное исследование показало, что правильный выбор технологии лиофилизации и добавление криопротекторов, в частности сахарозы, позволяет значительно улучшить совместное культивирование *Vacilluscoagulans* и *Streptococcusthermophilus*. Этот вывод имеет практическое значение для пищевой промышленности и других областей, в которых используются микроорганизмы.

Ключевые слова: криопротектор, *Vacilluscoagulans*, *Streptococcusthermophilus*, пищевая промышленность, сахароза, замораживание, совместное выращивание, квантово-химические расчеты, микробные культуры.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке РФФ № 23-16-00224.

Для цитирования: Разработка технологии лиофилизации и оптимизация криопротекторов для улучшения совместного культивирования бактерий *Vacillus Coagulans* и *Streptococcus Thermophilus* / М. С. Ашихмина [и др.] // Ползуновский вестник. 2024. № 2, С. 37–45. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.005. EDN: <https://elibrary.ru/CNLNIL>.

Original article

DEVELOPMENT OF LYOPHILIZATION TECHNOLOGY AND OPTIMIZATION OF CRYOPROTECTANTS TO IMPROVE CO-CULTIVATION OF *BACILLUS COAGULANS* AND *STREPTOCOCCUS THERMOPHILUS* BACTERIA

Mariia S. Ashikhmina¹, Vasilisa F. Krasnova²,
Olga Yu. Orlova³, Sviatlana A. Ulasevich⁴, Ekaterina V. Skorb⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} ITMO University, St. Petersburg, Russia

¹ ashikhmina@infochemistry.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8545-1051>

² krasnova@infochemistry.ru, <https://orcid.org/0009-0005-3725-261X>

³ oousova@itmo.ru

⁴ saulasevich@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1753-911X>

⁵ skorb@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0888-1693>

Abstract. Microorganisms play an important role in various fields, including biotechnology, food processing, pharmaceuticals and the environment. However, preserving the viability and genetic stability of microorganisms during storage and transportation is challenging. In order to ensure efficient operation and obtain reliable results, it is necessary to develop an optimal method for the preservation of microbial cultures. The aim of the study is to develop an effective lyophilization technology and selection of cryoprotectants to improve the co-culture of *Bacillus coagulans* and *Streptococcus thermophilus*. Co-culturing of these bacteria is essential to obtain high quality products with desired properties. Proper lyophilization technology and the addition of cryoprotectants have made it possible to significantly reduce the damage caused by freezing and to successfully culture the two bacteria. Sucrose is found to be one of the most effective cryoprotectants in this study. It showed the best result in a 3:1 ratio with the bacterial mass. Quantum chemical calculations were performed to evaluate the effectiveness of sucrose as a cryoprotectant. The results of the calculations confirmed that sucrose is an effective cryoprotectant for *Bacillus coagulans* and *Streptococcus thermophilus* bacteria. It should be noted that the development of an optimal method of preservation is crucial for effective work and reliable results in the cultivation of microbial cultures. The study showed that the correct choice of lyophilization technology and the addition of cryoprotectants, in particular sucrose, can significantly improve the co-cultivation of *Bacillus coagulans* and *Streptococcus thermophilus*. This finding has practical implications for the food industry and other fields in which microorganisms are used.

Keywords: cryoprotectant research, *Bacillus coagulans*, *Streptococcus thermophilus*, food industry, sucrose, freezing damage, co-culture, quantum-chemical calculations, optimal preservation methods, microbial cultures.

Acknowledgements: The work was carried out with the support of the RSF № 23-16-00224.

For citation: Ashikhmina, M.S., Krasnova, V.F., Orlova, O.Yu., Ulasevich, S.A. & Skorb, E.V. (2023). Development of lyophilization technology and optimization of cryoprotectants to improve co-cultivation of *Bacillus Coagulans* and *Streptococcus Thermophilus* bacteria. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 37-45. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.02.005. EDN: <https://elibrary.ru/CNLNIL>.

ВВЕДЕНИЕ

В научных исследованиях сохранение и выживаемость чистых культур микроорганизмов являются ключевыми факторами для успешной деятельности и получения достоверных результатов как в науке, так и в промышленности. Если культура микроорганизма не сохраняется должным образом, то это может привести к изменению свойств микроорганизма и, следовательно, к некорректным результатам исследования.

На сегодняшний день существует четыре основных метода сушки бактериальных культур: распылительная [1, 2], сублимационная, вакуумная [3–5] сушка и сушка в псевдооживленном слое [6–8].

Распылительная сушка обладает высокой производительностью и низкой стоимостью оборудования, но может негативно повлиять на выживаемость микроорганизмов из-за высоких температур и давлений. Кроме того, возможна потеря биологической актив-

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЛИОФИЛИЗАЦИИ И ОПТИМИЗАЦИЯ КРИОПРОТЕКТОРОВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ СОВМЕСТНОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ БАКТЕРИЙ *BACILLUS COAGULANS* И *STREPTOCOCCUS THERMOPHILUS*

ности пробиотических культур. Сушка в псевдооживленном слое является быстрым и производительным методом, но не всегда эффективна для пробиотических культур, т. к. может привести к потере их биологической активности. В свою очередь, сублимационная и вакуумная сушка позволяют сохранить биологическую активность пробиотиков благодаря использованию низких температур и давлений. Но ограничивающим фактором может стать разработка веществ, которые позволяют защищать микроорганизмы при заморозке. При этом сублимационная или лиофильная и вакуумная сушки позволяют сохранить микроорганизмы в течение многих лет, не теряя их жизнеспособности и биологических свойств.

В связи с этим наиболее перспективным способом является лиофилизация микроорганизмов. Однако при замораживании и лиофилизации микроорганизмы подвергаются стрессу, который может привести к повреждению клеточных мембран [9–12], изменению ферментативной активности [13] и другим негативным последствиям [14–16]. Увеличению выживаемости бактерий при заморозке способствуют криопротекторные вещества [3, 17–19], которые защищают клетки от повреждений, предотвращают образование льда внутри клеток и уменьшают давление на клеточные стенки как с внешней, так и с внутренней стороны.

Разработка технологии лиофилизации и подбор криопротекторов позволяет улучшить совместное культивирование бактерий. Например, одной из сложностей использования *Bacillus coagulans* и *Streptococcus thermophilus* при совместном культивировании является подбор оптимальных условий для их роста и развития. Известно, что *Streptococcus thermophilus* накапливает биомассу при культивировании в среде МРС в течение 12–24 ч, в то время, как *B. Coagulans*, споровая культура, у которой активация клеток и накопление биомассы занимает от 30 до 48 ч.

В связи с этим целью данного исследования является подбор условий культивирования и лиофилизации *B. Coagulans* для совместного культивирования с *S. thermophilus*. Правильная технология лиофилизации позволит накопить рациональное количество биомассы и сократить длительность процесса.

МЕТОДЫ

Процедура подготовки бактериальной массы

Накопление биомассы *S. Thermophilus* проводили в жидкой питательной среде МРС

(Ман, Порога, Шарп) (Hi Media Laboratories, Индия). Количество внесенной культуры нормировалось по оптической плотности ($OD_{600} = 0,1$). Культивирование проводили в течение 19–20 ч при температуре 37 ± 1 °С.

Споры *B. coagulans* активировали ультразвуком с частотой вибрации 35 кГц и мощностью 80 Вт в течение 20–30 с при температуре 32–34 °С. Бактерии культивировали в жидкой питательной среде МРС с содержанием лактозы 1 масс. %. Количество внесенной культуры нормировали по оптической плотности ($OD_{600} = 0,1$). Культивирование проводили в течение 20–21 ч при температуре 37 ± 1 °С.

Бактериальные клетки собирали в асептических условиях в начале стационарной фазы культивирования. Затем проводили отделение биомассы от питательной среды центрифугированием (5000 об/мин) при 20–22 °С в течение 10 мин на центрифуге (Eppendorf, 5804 ФРГ). Ростовую среду (супернатант) декантировали, собранные клетки дважды промывали физиологическим раствором и асептической дистиллированной водой, отделяя биомассу центрифугированием. Каждый осадок ресуспендировали в экспериментальной защитной среде для получения клеточной суспензии, содержащей примерно $1,0 \times 10^{11}$ КОЕ/мл. Аликвоты объемом по 3,5 мл каждой ресуспензии переносили в четыре стерилизованных флакона (10 мл) и замораживали при –18 °С один час и –80 °С в течение 17–18 ч. Затем образцы подвергали сублимационной сушке при температуре конденсора –55 °С при следующих параметрах: первичная сушка I (560 мин, –5,0 °С, 0,90 мбар), первичная сушка II (420 мин, 15,0 °С, 0,60 мбар), вторичная сушка I (240 мин, 25,0 °С, 0,40 мбар), вторичная сушка II (120 мин, 25,0 °С, 0,30 мбар), вторичная сушка III (120 мин, 25,0 °С, 0,10 мбар). Общее время сушки 24 ч в лиофилизаторе (Buchi Lyovapor L-200, Швейцария).

Определение жизнеспособности клеток

Количество жизнеспособных клеток определяли до и после лиофилизации в виде колониеобразующих единиц (КОЕ). Каждый образец бактерий с внесенным криопротектором перед замораживанием серийно разводили стерильным физиологическим раствором (0,85 масс.% NaCl) и проводили посеvy методом Коха с питательной средой МРС. Высушенные образцы ресуспендировали в 1 мл стерильной дистиллированной воды, инкубировали при температуре 37 °С в тече-

ние 15 мин и высевали на чашки, как описано выше. Чашки инкубировали при 37 °С в течение 48 ч перед подсчетом колоний.

Анализ эффективности ферментации

Для оценки эффективности ферментации высушенных бактерий, полученных путем лиофилизации в этом исследовании, навеску массой 0,02 г инокулировали в среде МРС бульоне (100 мл) при 37 °С в течение 17–18 ч. Биомассу, величину рН определяли в течение 72 ч.

Определение биомассы

Осадки клеток собирали центрифугированием ферментационного бульона при 5000 об/мин при 4 °С в течение 5 мин и добавляли стерильную дистиллированную воду для приготовления суспензии. Оптическую плотность суспензии при 600 нм (OP_{600}) определяли с помощью спектрофотометра (Shimadzu UV-1800) и регистрировали для оценки биомассы.

Квантово-химический расчет для обоснования применения сахарозы

Расчеты энергии сольватации для сахарозы проводили с использованием программного обеспечения Orca 5.0.3. Полная оптимизация геометрии для структуры модели сахарозы была проведена на теоретическом уровне B3LYP-D3/def2-TVZP. Было использовано приближение RIJCOSX и вспомогательный базисный набор TVZP/C, а также аппроксимация с ограничением спина. Допуски на сходимость для оптимизации геометрии составляли изменение энергии = $5,0 \times 10^{-6} \text{Eh}$ максимальный градиент = $3,0 \times 10^{-4} \text{Eh/Bohr}$, среднеквадратичный градиент = $1,0 \times 10^{-4} \text{Bohr}$, максимальное смещение = $4,0 \times 10^{-3} \text{Bohr}$ и среднеквадратичное смещение = $2,0 \times 10^{-3} \text{Bohr}$. Матрица Гауссиана была рассчитана для всех оптимизированных модельных структур, чтобы доказать правильность расположения стационарных точек на поверхностях потенциальной энергии (во всех случаях не было обнаружено мнимых частот) и оценить термодинамические свойства (а именно энтальпию, энтропию и свободную энергию Гиббса) для всех модельных систем при 298,15 К и 1 атм.

Статистический анализ

Жизнеспособность (%) = количество жизнеспособных клеток после лиофилизации (КОЕ/г) / количество жизнеспособных клеток до лиофилизации (КОЕ/г) $\times 100$ %.

Каждый эксперимент проводился в трех биологических повторностях. Статистические

различия оцениваются с помощью однофакторного дисперсионного анализа с использованием теста Дункана и программного обеспечения Origin Lab Corporation. Различия между группами с $p < 0,05$ ($n = 3$) считаются статистически значимыми.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Кисломолочные продукты являются важным источником питания для человека. Помимо белков, жиров, углеводов, витаминов и минералов, они содержат молочнокислые бактерии, которые необходимы для поддержания здоровья и нормальной работы организма. Бактерии, используемые в производстве кисломолочных продуктов, в том числе такие, как *Bacillus coagulans*, *Streptococcus thermophilus*, имеют множество полезных свойств. Они помогают улучшить пищеварение, укрепить иммунную систему и предотвратить развитие инфекций. Наши предыдущие исследования показали, что *B. coagulans* проявляет низкую казеолитическую и фосфатазную активность, и, как следствие, при использовании штамма бактерии при заквашивании молока образуется слабый сгусток с высокой степенью синерезиса. Для улучшения потребительских и реологических свойств была подобрана вспомогательная заквасочная культура – *S. thermophilus*. При этом было также установлено, что наиболее приемлемое соотношение микроорганизмов в продукте составляет 1:4 (*S. thermophilus* : *B. coagulans*). Учитывая, что *B. coagulans* требует дополнительной операции, связанной с активацией спор, для уменьшения производственного цикла необходимо разработать технологию лиофилизации и подобрать состав криопротектора, который позволит проводить совместное культивирование *S. Thermophilus* и *B. coagulans* без активации спор.

Наращивание биомассы *B. coagulans* проводили в жидкой питательной среде. Активированные споры в асептических условиях помещали в жидкую питательную среду МРС. В качестве дополнительного ростового вещества использовали лактозу. Для определения рациональной дозы внесения проводили исследования с различной концентрацией лактозы (рис. 1, А). Количество внесённой культуры нормировали по оптической плотности ($OD_{600} = 0,1$). Культивирование проводили в течение 72 ч при температуре 37 ± 1 °С.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЛИОФИЛИЗАЦИИ И ОПТИМИЗАЦИЯ КРИОПРОТЕКТОРОВ
 ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ СОВМЕСТНОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ БАКТЕРИЙ *VACILLUS COAGULANS*
 И *STREPTOCOCCUS THERMOPHILUS*

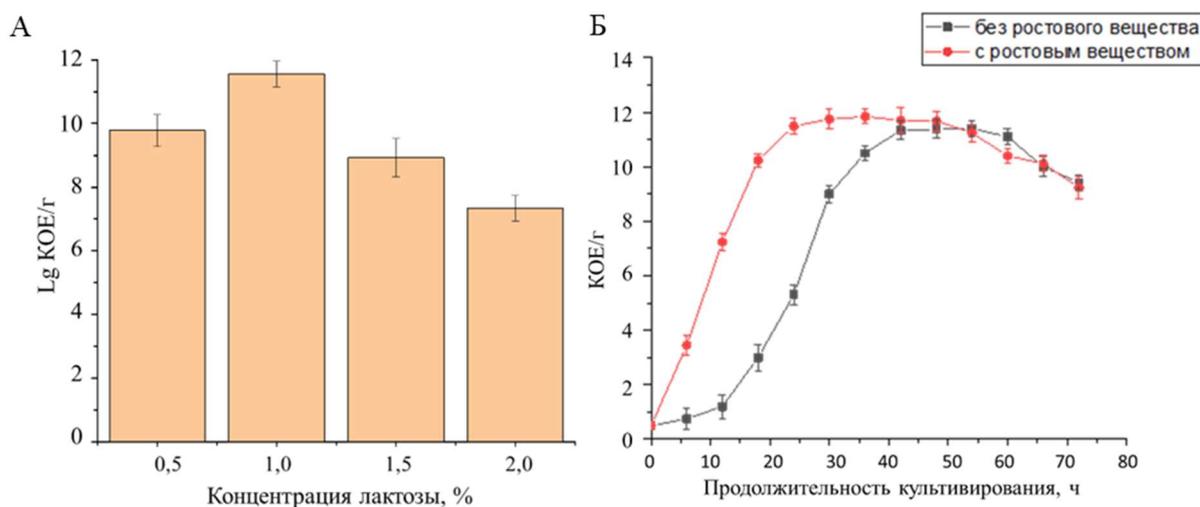


Рисунок 1 – Количество КОЕ в мл культуральной среды в зависимости от концентрации добавляемого дисахарида (А); кривая роста *B. coagulans* при содержании 1,0 % лактозы в питательной среде (Б)

Figure 1 - The amount of CFU in ml of culture medium depending on the concentration of the added disaccharide (A); the growth curve of *B. coagulans* with a content of 1.0% lactose in the nutrient medium (B)

Для определения внесения необходимого количества дисахарида были определены четыре различные концентрации выбранного сахара от 0,5 масс.% до 2,0 масс.%. В процессе культивирования отбирали 1 мл аликвоты для проведения посевов глубинным методом для построения кривой роста (рис. 1, Б). Добавление в питательную среду до 1,0 масс.% лактозы стимулирует рост бактерий, тогда как концентрация лактозы свыше 1,0 масс.% ингибирует рост *B. coagulans*. Вероятней, ингибирование роста происходит из-за повышения вязкости среды, что провоцирует более медленный перенос питательных веществ в бактериальную клетку. Кроме того, происходит избыток углеводов при недостатке азота, что сказывается на росте клеток.

После культивирования отделение бактериальной массы от питательной среды проводили методом центрифугирования. Центрифугирование для осаждения биомассы проводили в течение 5 мин с количеством оборотов 5000 об/мин. Установлено, что данный режим позволяет качественно выделить бактериальную массу, отделив супернатант, а также сохранить жизнеспособность клеток, не повредив клеточную стенку бактерий.

Подбор криопротектора для бактерий является важным этапом в сохранении их жизнеспособности при хранении в замороженном состоянии. Криопротекторы также играют важную роль при лиофилизации бактерий, которая является методом сохранения

микроорганизмов в сухом состоянии. В процессе лиофилизации бактерии замораживаются и затем высушиваются при помощи вакуума, что позволяет сохранить их жизнеспособность на длительное время. Выбор криопротектора зависит от многих факторов, таких как тип бактерии, условия замораживания и требования к долгосрочному хранению.

Для успешной лиофилизации бактерий криопротекторы должны быть добавлены в культуру перед замораживанием. Они защищают клетки от повреждения при замораживании и высушивании, а также помогают сохранить их жизнеспособность при длительном хранении.

Наиболее распространенными криопротекторами для лиофилизации бактерий являются сахароза, трегалоза, глицерин и ДМСО. Глицерин и ДМСО также могут использоваться в качестве криопротекторов при лиофилизации бактерий, но они могут вызывать негативные побочные эффекты на рост и выживаемость некоторых видов бактерий. Сахароза и трегалоза обладают высокой способностью защиты клеток от повреждений при замораживании и высушивании, а также не оказывают негативного воздействия на рост и выживаемость большинства видов бактерий.

Однако подбор рациональных и оптимальных концентраций криопротекторов и их соотношение с бактериальной массой для разных культур отличаются. Для клеточных

культур *B. coagulans* и *S. thermophilus* были выбраны пять криопротекторов (рис. 2, А). Для предварительных экспериментов была выбрана концентрация всех криопротекторов 10 масс. %. Следует отметить, что все образцы были подвержены одинаковым условиям стерилизации – автоклавированию при 121 °С и давлении – 1,1 атм в течение 15 мин. Вероятно, низкая выживаемость бактерий при использовании глицерина и альбумина была связана со стерилизацией. Наибольшая вы-

живаемость была получена при использовании сахарозы. Помимо выживаемости бактерий, важным является соотношение бактерий и их совместное культивирование.

В результате в качестве криопротектора для заморозки и лиофилизации была выбрана сахароза. Для определения оптимальной концентрации были проведены дополнительные исследования, результаты которых приведены на рисунке 2, Б.

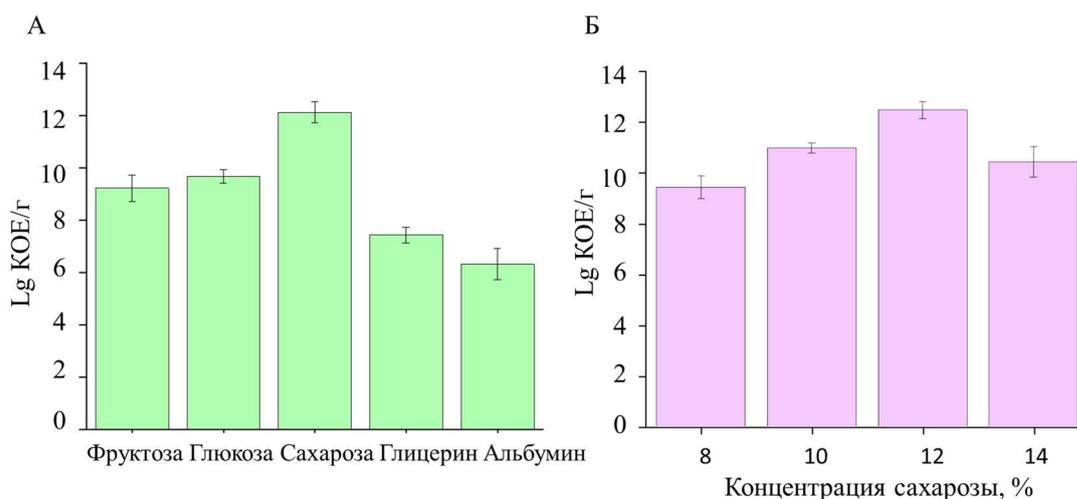


Рисунок 2 – Количество КОЕ после лиофилизации бактерий при различных криопротекторных веществах (А); количество КОЕ при оптимизации массовой доли сахарозы в среде (Б)

Figure 2 -The amount of CFU after lyophilization of bacteria with various cryoprotective substances (A); the amount of CFU when optimizing the mass fraction of sucrose in the medium (B)

В результате исследований в качестве используемого криопротектора была выбрана сахароза с массовой долей 12 масс.%. Образование внутриклеточного льда и острых кристаллов льда может привести к разрыву клеточной стенки, что приводит к гибели клетки. Одним из важных параметров замораживания является скорость заморозки. Известно, от скорости заморозки зависит кинетика зарождения и образования льда как внутри, так и во внеклеточном пространстве. Работа непроникающих криопротекторов основана на осмотическом давлении. При высокой скорости охлаждения не хватает времени для выхода воды из клеточного пространства во внешнюю среду [20].

При более медленной скорости охлаждения вода успевает выйти из клетки, что может привести к осмотическому стрессу и усадке клетки. Однако при медленном замораживании повреждение клетки может происходить из-за уменьшения объема окружающей среды, который уменьшается по мере увеличения количества внеклеточной замо-

роженной воды. В связи с этим важно выбрать оптимальную скорость замораживания и концентрацию криопротектора, что приведёт к оптимальному балансу между образованием внутриклеточного льда и осмотическим процессом.

Таким образом, были проведены шесть экспериментов, связанных со скоростью и условием замораживания биомассы с криопротектором. Стоит отметить, что во всех случаях количество биомассы и объем криопротектора были одинаковыми и составляли 1:3 соответственно.

Охлаждение и заморозку образцов проводили следующим образом (табл. 1). После культивирования проводили отделение биомассы от питательной среды методом центрифугирования, затем сразу же добавляли раствор сахарозы 12 масс.%. Подготовленные образцы помещали в холодильную камеру. Второй, четвертый и пятый образцы дополнительно помещали в криобокс с изопропиловым спиртом.

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЛИОФИЛИЗАЦИИ И ОПТИМИЗАЦИЯ КРИОПРОТЕКТОРОВ
ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ СОВМЕСТНОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ БАКТЕРИЙ *BACILLUS COAGULANS*
И *STREPTOCOCCUS THERMOPHILUS***

Для определения режимов заморозки были проведены шесть исследований с различным протоколом замораживания (табл. 1, рис. 3).

Заморозку бактериальной смеси с криопротектором проводили в течение 17–18 ч. Все образцы доходили до заморозки при температуре –80 °С.

Таблица 1 – Характеристики параметром обработки образцов перед замораживанием

Table 1 - Characteristics of the sample processing parameter before freezing

Номер образца	Криобокс	4–6 °С	–18 ÷ –20 °С	–80 °С
1				
2				
3				
4				
5				
6				

Примечание

Образец 1 сразу после внесения криопротектора помещали в морозильную камеру при –80 °С и выдерживали в течение 17–18 ч.

Образец 2 сначала помещали в криобокс с изопропиловым спиртом, затем ставили в холодильную камеру при 4–6 °С на 30 мин, затем помещали в морозильную камеру при –18 ÷ –20 °С на 1 ч. По истечении одного часа образец помещали в морозильную камеру при –80 °С на 17–18 ч.

Образец 3 после добавления криопротектора помещали в морозильную камеру при –18 ÷ –20 °С, также на 1 час, а затем помещали в –80 °С и выдерживали в течение 17–18 ч.

Образец 4 после добавления криопротектора помещали в криобокс с изопропиловым спиртом и затем ставили в морозильную камеру при –18 ÷ –20 °С, на 1 час, а затем помещали в –80 °С и выдерживали в течение 17–18 ч.

Образец 5 после добавления криопротектора помещали в криобокс с изопропиловым спиртом и затем ставили в морозильную камеру в –80 °С на 17–18 ч.

Образец 6 после добавления криопротектора помещали в холодильную камеру при 4–6 °С на 30 мин, затем помещали в морозильную камеру при –18 ÷ –20 °С на один час. По истечении одного часа образец помещали в морозильную камеру при –80 °С на 17–18 ч.

Для системы *Bacilluscoagulans* и *Streptococusthermophilus* в соотношении 4 : 1 с криопротектором сахарозой концентрацией 12 масс.% и соотношением бактериальной массы : криопротектор – 1 : 3 наилучший результат показал третий способ заморозки (рис. 3). После добавления криопротектора фалькон сразу помещали в морозильную камеру при –18 ÷ –20 °С на один час, а затем помещали в морозильник при –80 °С на 17–18 ч. Далее проводили лиофилизацию.

Для подтверждения эффективности применения сахарозы качестве криопротектора и антифриза был применен квантово-химический расчет, который позволил рассчитать свободную энергию связывания воды с гидроксильными группами выбранного криопротектора – сахарозой (рис. 4).

Расчеты показали, что взаимодействие молекул воды с молекулами сахарозы приводит к образованию водородных связей между ними, которые усложняют процесс кристаллизации воды и замедляют образование льда.

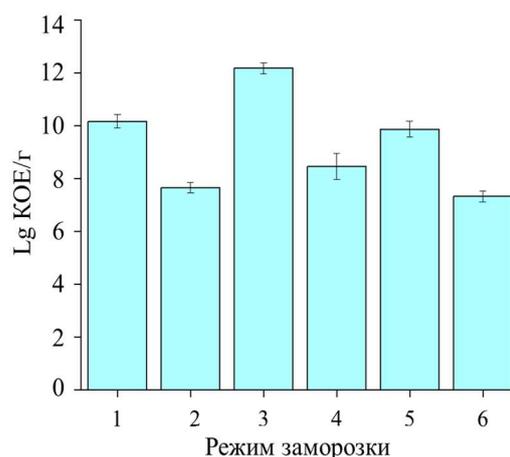


Рисунок 3 – Количество КОЕ после лиофилизации бактерий при различных протоколах заморозки

Figure 3 - The number of CFU after lyophilization of bacteria under various freezing protocols

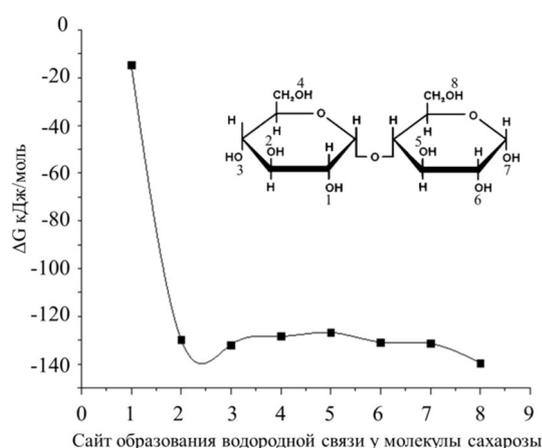


Рисунок 4 – График зависимости энергии Гиббса от сайта образования водородной связи у молекулы сахарозы

Figure 4 - Graph of the Gibbs energy dependence on the site of hydrogen bond formation in a sucrose molecule

Таким образом, добавление сахарозы к бактериям может быть использовано в качестве криопротектора, который защищает биологические объекты от повреждений при замораживании и лиофилизации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана технология подготовки *Bacillus coagulans* и *Streptococcus thermophilus* к замораживанию и лиофилизации. Представленная технология позволяет проводить совместное культивирование двух бактерий. Квантово-химическими расчетами оценена эффективность использования сахарозы в качестве криопротектора для совместного культивирования молочнокислых бактерий *Bacillus coagulans* и *Streptococcus thermophilus*. Результаты показали, что добавление сахарозы к биомассе в соотношении 3 : 1 значительно уменьшает повреждения клеток, вызванные замораживанием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Sompach, G., Rodklongtan, A., Nitisinprasert, S., Chitprasert, P. Microencapsulating Role of Whey Protein Isolate and Sucrose in Protecting the Cell Membrane and Enhancing Survival of Probiotic Lactobacilli Strains during Spray Drying, Storage, and Simulated Gastrointestinal Passage. *Food Research International* 2022, 159, 111651. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111651>.
2. Huang, S., Vignolles, M.-L., Chen, X.D., Le Loir, Y., Jan, G., Schuck, P., Jeantet, R. Spray Drying of Probiotics and Other Food-Grade Bacteria: A Review. *Trends Food Sci Technol* 2017, 63, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.02.007>.

3. Merivaara, A., Zini, J., Koivunotko, E., Valkonen, S., Korhonen, O., Fernandes, F.M., Yliperttula, M. Preservation of Biomaterials and Cells by Freeze-Drying: Change of Paradigm. *Journal of Controlled Release* 2021, 336, 480-498. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2021.06.042>.

4. Estilarte, M.L., Tymczyszyn, E.E., Seradell, M. de los Á., Carasi, P. Freeze-Drying of Enterococcus Durans: Effect on Their Probiotics and Biopreservative Properties. *LWT* 2021, 137, 110496. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110496>.

5. Bellali, S., Bou Khalil, J., Fontanini, A., Raoult, D., Lagier, J.-C. A New Protectant Medium Preserving Bacterial Viability after Freeze Drying. *Microbiol Res* 2020, 236, 126454. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126454>.

6. Câmara Júnior, A. de A., Nguyen, T.D., Jossier, A., Endrizzi, A., Saurel, R., Simonin, H., Husson, F. Improving Total Glutathione and Trehalose Contents in *Saccharomyces Cerevisiae* Cells to Enhance Their Resistance to Fluidized Bed Drying. *Process Biochemistry* 2018, 69, 45-51. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2018.03.013>.

7. Mohideen Batcha, M.F., Amirordin, S.H., Md Yudin, A.S. Fluidized Bed Dryers. In *Drying Technology in Food Processing*; Elsevier, 2023; pp. 67-122. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819895-7.00006-7>.

8. Vorländer, K., Bahlmann, L., Kwade, A., Finke, J.H., Kampen, I. Effect of Process Parameters, Protectants and Carrier Materials on the Survival of Yeast Cells during Fluidized Bed Granulation for Tableting. *Pharmaceutics* 2023, 15 (3), 884. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15030884>.

9. Wolkers, W.F., Oldenhof, H., Tang, F., Han, J., Bigalk, J., Sieme, H. Factors Affecting the Membrane Permeability Barrier Function of Cells during Preservation Technologies. *Langmuir* 2019, 35 (23), 7520-7528. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.8b02852>.

10. Mizuno, M., Matsuzaki, T., Ozeki, N., Katanoh, H., Koga, H., Takebe, T., Yoshikawa, H.Y., Sekiya, I. Cell Membrane Fluidity and ROS Resistance Define DMSO Tolerance of Cryopreserved Synovial MSCs and HUVECs. *Stem Cell Res Ther* 2022, 13 (1), 177. <https://doi.org/10.1186/s13287-022-02850-y>.

11. Mazur, P., Leibo, S.P., Chu, E.H.Y. A Two-Factor Hypothesis of Freezing Injury. *Exp Cell Res* 1972, 71 (2), 345-355. [https://doi.org/10.1016/0014-4827\(72\)90303-5](https://doi.org/10.1016/0014-4827(72)90303-5).

12. Murray, K.A., Gibson, M.I. Chemical Approaches to Cryopreservation. *Nat Rev Chem* 2022, 6 (8), 579-593. <https://doi.org/10.1038/s41570-022-00407-4>.

13. Alves, N.J., Turner, K.B., Medintz, I.L., Walper, S.A. Protecting Enzymatic Function through Directed Packaging into Bacterial Outer Membrane Vesicles. *Sci Rep* 2016, 6 (1), 24866. <https://doi.org/10.1038/srep24866>.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЛИОФИЛИЗАЦИИ И ОПТИМИЗАЦИЯ КРИОПРОТЕКТОРОВ
ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ СОВМЕСТНОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ БАКТЕРИЙ *VACILLUS COAGULANS*
И *STREPTOCOCCUS THERMOPHILUS*

14. Yang, J., Pan, C., Zhang, J., Sui, X., Zhu, Y., Wen, C., Zhang, L. Exploring the Potential of Biocompatible Osmoprotectants as Highly Efficient Cryoprotectants. *ACS Appl Mater Interfaces* 2017, 9 (49), 42516-42524. <https://doi.org/10.1021/acsami.7b12189>.

15. Zachariassen, K.E., Kristiansen, E. Ice Nucleation and Antinucleation in Nature. *Cryobiology* 2000, 41 (4), 257-279. <https://doi.org/10.1006/cryo.2000.2289>.

16. Gao, W., Smith, D.W., Li, Y. Effects of Freezing on the Survival of Escherichia Coli and Bacillus and Response to UV and Chlorine After Freezing. *Water Environment Research* 2007, 79 (5), 507-513. <https://doi.org/10.2175/106143006X115426>.

17. Raju, R., Bryant, S.J., Wilkinson, B.L., Bryant, G. The Need for Novel Cryoprotectants and Cryopreservation Protocols: Insights into the Importance of Biophysical Investigation and Cell Permeability. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects* 2021, 1865 (1), 129749. <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2020.129749>.

18. Hasan, M., Fayter, A.E.R., Gibson, M.I. Ice Recrystallization Inhibiting Polymers Enable Glycerol-Free Cryopreservation of Microorganisms. *Biomacromolecules* 2018, 19 (8), 3371-3376. <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.8b00660>.

19. Kommineni, N., Butreddy, A., Sainaga Jyothi, V.G.S., Angsantikul, P. Freeze-Drying for the Preservation of Immunoengineering Products. *i Science* 2022, 25 (10), 105127. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.105127>.

20. Dumont, F., Marechal, P.-A., Gervais, P. Cell Size and Water Permeability as Determining Factors for Cell Viability after Freezing at Different Cooling Rates. *Appl Environ Microbiol* 2004, 70 (1), 268-272. <https://doi.org/10.1128/AEM.70.1.268-272.2004>.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 14 октября 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 06 мая 2024.

The article was received by the editorial board on 14 Oct 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 06 May 2024.

Информация об авторах

М. С. Ашихмина – аспирант научно-образовательного центра инфохимии Университета ИТМО.

В. Ф. Краснова – магистрант научно-образовательного центра инфохимии Университета ИТМО.

О. Ю. Орлова – к.т.н. доцент научно-образовательного центра инфохимии Университета ИТМО.

С. А. Уласевич – к.х.н. научно-образовательного центра инфохимии Университета ИТМО.

Е. В. Скорб – д.х.н. профессор научно-образовательного центра инфохимии Университета ИТМО

Information about the authors

M.S. Ashikhmina - postgraduate student of the Scientific Infochemistry Center of ITMO University.

V.F. Krasnova - Master's student of the Scientific Infochemistry Center of ITMO University of ITMO University.

O.Y. Orlova - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Scientific Infochemistry Center of ITMO University of the ITMO University.

S.A. Ulasevich - Candidate of Chemical Sciences of the Scientific Infochemistry Center of the ITMO University ITMO University.

E.V. Skorb - Doctor of Chemical Sciences, Professor of the Scientific Infochemistry Center of ITMO University of the ITMO University.



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

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.006



ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ СЕМЯН МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР В ТЕХНОЛОГИИ ХЛЕБА

Светлана Павловна Меренкова ¹, Дмитрий Иванович Девяткин ²

^{1,2} Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

¹ merenkovasp@susu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8204-0000>

² devyatkin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5457-1613>

Аннотация. С учетом перспектив расширения ассортимента обогащенных продуктов питания при сохранении и улучшении качественных характеристик и рационализации технологического цикла производства внедрение новых технологий является актуальной задачей для производителей. Целью данного исследования являлся анализ перспектив использования муки из семян масличных культур в сочетании с арабиногалактаном в технологии обогащенного хлеба. Проводились исследования динамики биохимических процессов, физико-химических и реологических свойств изделий с использованием стандартных методик. При созревании полуфабрикатов наблюдается интенсификация ферментативных процессов, сопровождающихся формированием клейковины и кислотонакоплением, что позволяет сократить продолжительность брожения теста на 11,8–23,5 %. При добавлении 10 % конопляной, льняной или соевой муки уровень pH был на 5,44–5,85 % ниже, а титруемая кислотность на 14,3–28,6 % выше относительно контрольного образца. Употребление суточной нормы хлеба, содержащего 8–10 % конопляной, льняной или соевой муки позволяет удовлетворить потребность в витаминах В₁, В₆, Е и РР на 15,7–32,0 %; в бета-каротине – на 17,3–28,7 %, в цинке, железе, магнии и фосфоре – на 13,4–52,6 %; в пищевых волокнах – на 20,2–30,8 %, в арабиногалактане – на 16 %. Значения физико-химических показателей качества обогащенных образцов хлеба незначительно колебались в пределах регламентируемых значений. По реологическим свойствам опытные образцы различались как между собой, так и с контрольным образцом. Значения общей и упругой деформации уменьшались при введении в рецептуру конопляной и соевой муки на 26,5–41,8 %, а при добавлении 6–10 % льняной муки наблюдается возрастание пластичных свойств мякиша хлеба. Использование муки из семян масличных культур и арабиногалактана в рецептуре хлеба имеет положительное влияние на продолжительность технологического процесса, качество и пищевую ценность изготавливаемой продукции.

Ключевые слова: семена масличных культур, конопляная мука, льняная мука, соевая мука, обогащенный хлеб, биохимические процессы, брожение, физико-химические показатели, реологические свойства, химический состав, пищевая ценность, суточная потребность.

Для цитирования: Меренкова С. П., Девяткин Д. И. Перспективы применения компонентов семян масличных культур в технологии хлеба // Ползуновский вестник. 2024. № 2, С. 46–52. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.006. EDN: <https://elibrary.ru/ZNWWDN>.

Original article

PROSPECTS FOR THE USE OF OILSEED COMPONENTS IN BREAD TECHNOLOGY

Svetlana P. Merenkova ¹, Dmitry I. Devyatkin ²

^{1,2} South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

¹ merenkovasp@susu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8204-0000>

² devyatkin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5457-1613>

© Меренкова С. П., Девяткин Д. И., 2024

Abstract. Considering the prospects of expanding the range of fortified foods, while maintaining and improving quality characteristics and rationalizing the technological cycle of production, the introduction of new technologies is an urgent task for manufacturers. The purpose of this study was to analyze the prospects of using flour from oilseeds in combination with arabinogalactan in the technology of enriched bread. Studies of the dynamics of biochemical processes, physicochemical and rheological properties of products were carried out using standard methods. During the ripening of semi-finished products intensification of enzymatic processes accompanied by gluten formation and acid accumulation was observed, which allowed to reduce the duration of dough fermentation by 11,8-23,5 %. When 10 % of hemp, flax or soybean flour was added, the pH level was 5.44-5.85 % lower and titratable acidity was 14.3-28.6 % higher relative to the control sample. Consumption of daily norm of bread containing 8-10 % of hemp, flax or soy flour allows to satisfy the need in vitamins B₁, B₆, E and PP - by 15,7-32,0 %; in beta-carotene - by 17,3-28,7 %, in zinc, iron, magnesium and phosphorus - by 13,4-52,6 %; in dietary fibers - by 20,2-30,8 %, in arabinogalactan - by 16 %. The values of physicochemical quality indicators of enriched bread samples slightly fluctuated within the regulated values. The rheological properties of the experimental samples differed both among themselves and with the control sample. The values of total and elastic deformation decreased when hemp and soybean flours were introduced by 26.5-41.8 %, and when 6-10 % flaxseed flour was added, an increase in the plastic properties of the bread crumb was observed. The use of oilseed flour and arabinogalactan in bread formulation had a positive effect on the duration of the technological process, quality and nutritional value of manufactured products.

Keywords: oilseeds, hemp flour, linseed flour, soybean flour, enriched bread, biochemical processes, fermentation, physical and chemical parameters, rheological properties, chemical composition, nutritional value, daily requirement.

For citation: Merenkova, S.P. & Devyatkin, D.I. (2024). Prospects of application of components of oilseeds in bread technology. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 46-52. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.02.006. EDN: <https://elibrary.ru/ZNWWDN>.

ВВЕДЕНИЕ

Поддерживаемое на государственном уровне развитие ассортимента наиболее популярных видов продукции, обогащенных функциональными пищевыми ингредиентами, направлено на устранение дефицита витаминов и минеральных веществ в питании граждан Российской Федерации, что является одной из приоритетных задач Министерства здравоохранения [1].

На основании анализа научно-технической литературы установлены перспективы расширения ассортимента обогащенных и функциональных продуктов питания массового спроса, при сохранении и улучшении качественных характеристик и рационализации технологического цикла производства. Опираясь на данную закономерность, актуальным аспектом является научно-практическое обоснование использования нетрадиционных растительных компонентов, в технологии обогащенных хлебобулочных изделий, с улучшенными потребительскими свойствами [2–4].

Продукты переработки семян масличных культур характеризуются значительной концентрацией ценных питательных веществ. Так, соевая, льняная или конопляная мука

при применении в рецептуре хлебобулочных изделий служат источником белка, пищевых волокон и незаменимых микронутриентов.

Полисахарид арабиногалактан обладает доказанной пребиотической, иммуностимулирующей, гиполипидемической, гепатопротекторной активностью. Данный полисахарид физиологически эффективен при суточном поступлении в количестве около 1,5 г. В качестве технологической добавки для улучшения свойств клейковины данный компонент целесообразно использовать в количестве 2,5 % от массы муки [5].

Целью данного исследования являлся анализ перспектив использования муки из семян масличных культур в сочетании с арабиногалактаном в технологии обогащенного хлеба.

Задачи заключались в проведении исследований динамики биохимических процессов, протекающих на разных этапах технологического цикла, анализе пищевой ценности хлеба, его физико-химических и реологических свойств.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалами для исследования служили сырьевые компоненты: полисахарид арабиногалактан (производитель «Aromashka») и мука из семян масличных культур: соевая,

льняная и конопляная (производитель ООО «Гарнец»), а также образцы хлеба, приготовленные по унифицированной рецептуре хлеба из муки пшеничной 1-го сорта (контрольные) и по измененной рецептуре с добавлением муки из масличных семян (в количестве 6, 8 и 10 %) и 2,5 % арабиногалактана. Всего было произведено 10 образцов хлеба – контроль, 6 % КМ, 8 % КМ, 10 % КМ, 6 % ЛМ, 8 % ЛМ, 10 % ЛМ, 6 % СМ, 8 % СМ и 10 % СМ.

Контрольные образцы готовили по унифицированной рецептуре из сборника технологических инструкций. При составлении производственных рецептов были выполнены технологические расчеты водопоглощающей способности муки, влажности теста и выхода хлеба.

Для анализа динамики биохимических процессов в период брожения и расстойки теста анализировали активную кислотность (уровень pH) и титруемую кислотность полуфабриката. Динамику значения водородного показателя измеряли с использованием рН-метра 4 раза через равные промежутки времени (20 мин.) и в конце этапа расстойки тестовых заготовок (через 30 мин.). Титруемую кислотность полуфабрикатов определяли через 40 и 80 мин брожения.

Окончание процесса брожения и расстойки идентифицировали по достижении требуемой кислотности и органолептическим признакам: объему, запаху, упругоэластическим свойствам полуфабрикатов [6].

Для анализа пищевой ценности экспериментальных образцов произвели расчет общего содержания каждого макро- и микронутриента в смеси рецептурных компонентов с учетом возможных потерь при производстве.

В соответствии с нормами потребления пищевых веществ, указанных в МР 2.3.1.0253-21, определили степень удовлетворения суточной потребности человека в имеющихся нутриентах при потреблении суточной нормы потребления хлеба – 175 г [7].

Степень сформированности качества экспериментальных образцов хлеба оценивалась по физико-химическим показателям через 8 часов после выпечки в соответствии с требованиями нормативных документов.

Влажность мякиша готовых изделий определяли по ГОСТ 21094-75; определение титруемой кислотности производилось по ускоренному методу по ГОСТ 5670-96; пористость мякиша определяли по ГОСТ 5669-96. Исследования проводились в трехкратной повторности с вычислением среднего арифметического и среднеквадратичного отклонения.

Для анализа реологических свойств оценивались упругая и пластичная деформация

готовой продукции с использованием текстурометра «Структурометра СТ-2» путем внедрения индентора «Полусфера» в пробу продукта толщиной 12,5 мм и последующим его извлечением из пробы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Экспериментально установлено, что в результате взаимодействия биоактивных компонентов в пищевой системе хлеба на этапе созревания полуфабрикатов наблюдается интенсификация ферментативных процессов, сопровождающихся формированием клейковины и кислотонакоплением. Интенсивный гидролиз полисахаридов и достижение требуемой кислотности позволяет сократить продолжительность брожения и расстойки теста на 11,8–23,5 %. Динамика уровня pH теста представлена на рисунке 1, титруемой кислотности – на рисунке 2.

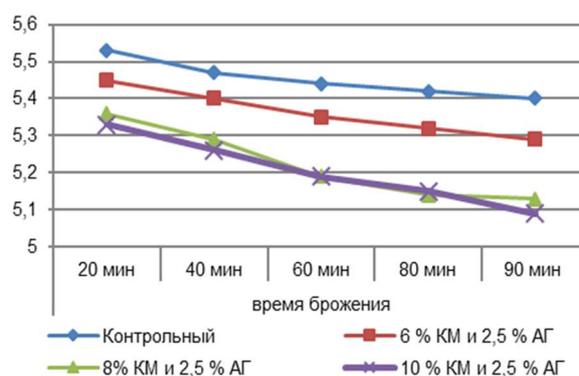


Рисунок 1 – Зависимость значения pH от времени брожения

Figure 1 - Dependence of the pH value on the fermentation time

Установлено, что при добавлении муки из семян масличных культур в количестве 10 % наблюдается снижение уровня pH на 5–10 % по сравнению с образцами с 6 % и 8 % нетрадиционных видов муки. При этом интенсификация биохимических процессов в большей степени наблюдалась в образцах с добавлением 10 % конопляной, льняной или соевой муки, доказано, что уровень pH был на 5,44–5,85 % ниже относительно контроля, а титруемая кислотность на 14,3–28,6 % выше относительно контрольного образца.

Химический состав муки из семян масличных культур и значения суточной потребности в пищевых веществах представлены в таблице 1, приведены средние значения суточной потребности в белках, жирах, углеводах и железе для мужчин и женщин. Установлено наиболее высокое содержание β -каротина и витами-

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ СЕМЯН МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР В ТЕХНОЛОГИИ ХЛЕБА

на Е в конопляной муке, в соевой муке отмечено значительное количество белков, витаминов В₂, В₆, РР и железа, в льняной муке – пищевых волокон и витамина В₁.

Микронутриенты, рекомендуемые к обогащению хлеба и содержащиеся в составе обогащенных образцов хлеба в большом количестве: витамины В₁, В₆ и РР, бета-каротин, железо (приказ Минздрава РФ от 19.08.2016 № 614).

В результате анализа пищевой ценности экспериментальных образцов доказано, что употребление суточной нормы хлеба, содержащего 10 % конопляной, льняной или соевой муки, позволяет удовлетворить потребность в витаминах В₁, В₆, Е и РР на 15,7–32,0 %; в цинке, железе, магнии и фосфоре – на 13,4–52,6 %; в пищевых волокнах – на 20,2–30,8 %, в арабиногалактане – на 16 %; а содержащих 10 % конопляной муки – в бета-каротине – на 28,7 %.

Степень удовлетворения суточной потребности в ключевых макро- и микронутриентах при употреблении 175 г хлеба представлена в таблице 2.

Значения физико-химических показателей качества обогащенных образцов хлеба незначительно колебались в пределах регламентируемых значений, что доказывает возможность внесения муки семян масличных культур в сочетании с арабиногалактаном в рецептуру хлеба без изменений стандартных качественных характеристик (табл. 3).

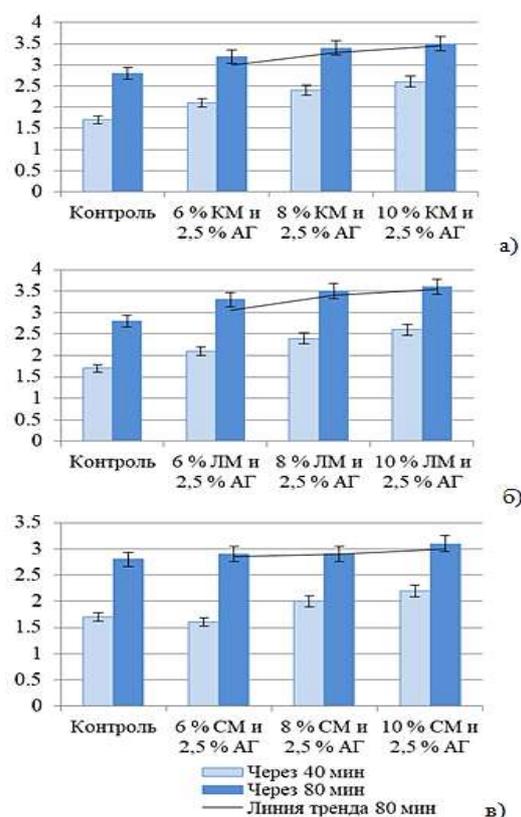


Рисунок 2 – Зависимость титруемой кислотности от времени брожения, при добавлении муки из масличных семян: а) конопляной; б) льняной; в) соевой

Figure 2 - Dependence of the of titrated acidity on the fermentation time, when adding flour from oilseeds: a) hemp; b) flax; c) soy flour

Таблица 1 – Химический состав муки из семян масличных культур на 100 грамм [8–10]

Table 1 - Chemical composition of flour from oilseeds per 100 grams [8–10]

Макро- и микронутриент	Содержание макро- и микронутриентов			Суточная потребность [11]	Доля от суточной потребности при потреблении 10 г, %		
	коноп-ляной	льняной	соевой		коноп-ляной	льняной	соевой
1	2	3	4	5	6	7	8
Макронутриенты, г							
Белки	30	25	49,8	84,8	7,08	5,90	11,76
Жиры	7,9	5	8,9	89	1,78	1,12	2,00
Углеводы	24,7	20	14,6	381,2	1,30	1,05	0,77
Пищевые волокна	18	36,7	16	20	18,00	36,70	16,00
Микронутриенты, мг							
β-каротин	17,8	0	0,02	5	71,20	0,00	0,08
Витамин В ₁	4,4	1,64	1,09	1,5	58,67	21,87	14,53
Витамин В ₂	1,20	0,16	0,28	1,8	13,33	1,78	3,11

Продолжение таблицы 1 / Continuation of table 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Витамин В ₄	78	78,7	191,7	500	3,12	3,15	7,67
Витамин В ₆	0,6	0,61	1,05	2	6,00	6,10	10,50
Витамин В ₉	0,13	0,87	0,29	0,40	6,25	4,35	14,45
Витамин Е	1,82	0,55	1,0	15	2,43	0,73	1,33
Витамин РР	9,2	3,21	12,7	20	9,20	3,21	12,70
Калий	1888	813	2090	3500	10,79	4,65	11,94
Кальций	421	255	285	1000	8,42	5,10	5,70
Магний	913	431	285	420	43,48	20,52	13,57
Железо	9,5	5,73	8,2	14	47,57	8,19	11,71
Фосфор	1650	642	675	700	47,14	18,34	19,29
Марганец	19,5	2,48	3,15	2,0	195,00	24,80	31,50
Цинк	13,4	5,0	4,1	12,0	22,33	8,33	6,83

Таблица 2 – Степень удовлетворения суточной потребности в макро- и микронутриентах, % при употреблении хлеба

Table 2 - The degree of satisfaction of the daily need for micronutrients, % when bread consuming

Макро- и микронутриент	Количество в 100 г образца хлеба				Удовлетворение суточной потребности при потреблении 175 г, % [11]			
	Контроль	10 % КМ и 2,5 % АГ	10 % ЛМ 2,5 % АГ	10 % СМ 2,5 % АГ	Контроль	10 % КМ 2,5 % АГ	10 % ЛМ 2,5 % АГ	10 % СМ 2,5 % АГ
Макронутриенты, г								
Белки	5,3	6,19	6,0	6,9	11,2	12,4	12,0	14,3
Жиры	1,0	1,3	1,1	1,3	1,8	2,2	1,9	2,2
Пищевые волокна	1,1	2,7	3,5	2,6	9,5	23,6	30,8	22,8
Микронутриенты, мг								
β-каротин	–	1,17	–	–	–	28,7	–	–
Витамин В ₁	0,22	0,4	0,25	0,21	19,8	32,0	21,0	18,8
Витамин В ₆	0,25	0,27	0,25	0,28	21,7	22,6	21,7	23,5
Витамин РР	2,5	3,55	3,27	3,71	21,8	31,1	28,6	32,4
Витамин Е	0,14	0,16	0,17	0,18	14,9	16,2	17,1	18,2
Магний	43,4	79,7	57,5	50,9	18,5	33,2	24,0	21,2
Железо	2,17	2,33	2,15	2,27	21,6	22,6	20,9	22,1
Фосфор	162,5	210,4	164,0	165,7	39,5	52,6	41,0	41,4
Цинк	0,92	1,42	1,03	0,99	13,7	20,7	15,0	14,4

Таблица 3 – Физико-химические и реологические показатели экспериментальных образцов

Table 3 - Physico-chemical and reological parameters of experimental samples

Экспериментальный образец хлеба	Контролируемые показатели				
	Пористость мякиша, %	Влажность мякиша, %	Кислотность мякиша, град	Упругая деформация, мм	Пластичная деформация, мм
1	2	3	4	5	6
6 % КМ	66,0±0,5	45,5±0,50	3,0±0,20	8,89±0,21	2,96±0,15
8 % КМ	65,0±0,6	46,0±0,45	3,3±0,23	8,55±0,18	3,13±0,16
10 % КМ	63,0±0,6	46,0±0,40	3,3±0,22	8,41±0,20	3,01±0,13
6 % ЛМ	65,6±0,3	45,7±0,50	2,9±0,23	12,26±0,25	3,47±0,15

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ СЕМЯН
МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР В ТЕХНОЛОГИИ ХЛЕБА**

Продолжение таблицы 3 / Continuation of table 3

1	2	3	4	5	6
8 % ЛМ	66,2±0,6	46,4±0,48	3,3±0,25	10,78±0,18	4,19±0,13
10 % ЛМ	68,3±0,5	46,2±0,44	3,2±0,21	20,29±0,27	4,23±0,14
6 % СМ	65,5±0,7	45,3±0,45	2,7±0,24	6,84±0,12	2,19±0,12
8 % СМ	68,3±0,3	45,9±0,43	2,8±0,23	6,48±0,14	1,75±0,10
10 % СМ	67,4±0,4	46,1±0,44	2,9±0,21	6,83±0,23	2,29±0,13
Контроль	67,2±0,4	45,0±0,45	2,5±0,25	11,69±0,15	4,32±0,15

Установлено, что с увеличением концентрации нетрадиционных видов муки снижается продолжительность формирования необходимых структурно-механических свойств полуфабрикатов, при внесении арабиногалактана тесто обладает повышенной эластичностью. По реологическим свойствам опытные образцы различаются как между собой, так и с контрольным образцом. Так, значения общей и упругой деформации уменьшаются при введении в рецептуру конопляной и соевой муки на 26,5–41,8 % – пропорционально концентрации вносимого компонента. Данная тенденция характеризует преобладание упругих свойств мякиша хлеба над пластическими. В образцах с включением 6–10 % льняной муки наблюдается незначительное возрастание пластичных свойств мякиша хлеба по сравнению с контрольным образцом, что объясняется наличием гидроколлоидных компонентов – слизи и пентозанов, в семенах льна (табл. 3).

Таким образом, использование муки из семян масличных культур и арабиногалактана в рецептуре хлеба имеет положительное воздействие на продолжительность технологического процесса, качество и пищевую ценность изготавливаемой продукции. Данный подход перспективен для решения задач устранения дефицита микронутриентов в питании населения нашей страны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментальные исследования доказывают перспективность применения в рецептуре хлеба биоактивной добавки муки из семян масличных культур: конопляной, льняной и соевой и полисахарида арабиногалактана. Данные функциональные пищевые ингредиенты обладают высокой биологической активностью, а их включение в рецептуру хлебобулочных изделий способствует сокращению продолжительности производства хлебобулочных изделий. Потребление суточной нормы хлебобулочных изделий (175 г) позволяет восполнить дефицит витаминов и минеральных веществ, наблюдающийся у большинства населения России.

По показателям качества обогащенные изделия незначительно отличаются от хлеба, приготовленного по стандартной рецептуре.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богомолова И.П. Направления и механизмы государственного регулирования производства функциональных хлебопродуктов / И.П. Богомолова, Е.А. Белимова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2014. № 2 (60). С. 177–183.
2. Технологические решения при производстве хлебобулочных изделий с применением продуктов переработки чумизы / Л.И. Кузнецова, М.К. Садыгова, О.С. Башинская [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2018. № 3(138). С. 176–181.
3. Ухина Е.Ю. Новый продукт профилактического питания / Е.Ю. Ухина // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. 2017. № 1(8). С. 42–48.
4. Use of non-traditional food additives in the production of bakery products / Z.B. Yessimsitova, N.T. Ablaihanova, G.A. Tussupbekova [et al.] // Вестник Казахского национального медицинского университета. 2018. № 3. Р. 212–214.
5. Влияние арабиногалактана, выделенного из древесины лиственницы сибирской, на хлебопекарные достоинства муки мягкой пшеницы и качество хлеба / М.Ф. Ермакова, А.К. Чистякова, Л.В. Щукина с соавт. // Химия растительного сырья. 2009. №1. С. 161–166.
6. Конструктивные и технологические приемы интенсификации замеса теста и повышения качества хлеба / Г.О. Магомедов, В.Л. Чешинский, Ю.Н. Труфанова [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2019. Т. 81, № 1(79). С. 232–237. DOI : 10.20914/2310-1202-2019-1-232-237.
7. Степычева Н.В. Теоретические и практические аспекты разработки функциональных хлебобулочных изделий : учеб. пособие / Н.В. Степычева, С.Н. Петрова. Санкт-Петербург : Троицкий мост, 2022. 184 с.
8. Мельникова Л.А. Характеристика льняной муки как перспективного ингредиента при изготовлении сахарного печенья с повышенной пищевой ценностью / Л.А. Мельникова, Е.Н. Гурновская, С.Е. Томашевич // 2016. № 4(34). С. 68–74.
9. Оценка пищевой ценности муки конопляной относительно традиционных видов безглютеновой муки / Л.Г. Ермош, Н.В. Присухина, Е.Н. Непомнящих, С.С. Савенков // Вестник КрасГАУ.

2022. № 8(185). С. 194–201. DOI 10.36718/1819-4036-2022-8-194-201.

10. Меренкова С.П. Обоснование технологии растительного молока на основе семян конопли технической и оценка его пищевой и биологической ценности / С.П. Меренкова, И.Ю. Потороко, Д.В. Ильков [и др.] // Вестник ЮУрГУ. Сер. Пищевые и биотехнологии. 2019. Т. 7. № 3. С. 41–51. DOI : 10.14529/food190305.

11. МР 2.3.1.0253-21. Методические рекомендации «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. Москва : Изд-во стандартов, 2021. 72 с.

Информация об авторах

С. П. Меренкова – кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры «Пищевые и биотехнологии» Южно-Уральского государственного университета.

Д. И. Девяткин – магистрант кафедры «Пищевые и биотехнологии» Южно-Уральского государственного университета.

REFERENCES

1. Bogomolova, I.P. & Belimova, E.A. (2014). Directions and mechanisms of state regulation of the production of functional bread products. Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2 (60). 177-183. (In Russ.).

2. Kuznetsova, L.I., Sadygova, M.K., Bashinskaya, O.S. [et al.]. (2018). Technological solutions for the production of bakery products with the use of chumiz processing products / Bulletin of Krasgau. 3(138). 176-181. (In Russ.).

3. Ukhina, E.Yu. (2017). A new product of preventive nutrition. Technologies and the study of agricultural products. 1(8). 42-48. (In Russ.).

4. Yessimsiitova, Z.B., Ablaikhanova, N.T., Tusupbekova, G.A. [et al.]. (2018). Use of non-traditional food additives in the production of bakery products. Bulletin of the Kazakh National Medical University. (3). 212-214. (In Russ.).

5. Ermakova, M.F., Chistyakova, A.K.,

Shchukina, L.V. [et al.]. (2009). The influence of arabinogalactan isolated from Siberian larch wood on the baking merits of soft wheat flour and the quality of bread. Chemistry of vegetable raw materials. (1). 161-166. (In Russ.).

6. Magomedov, G.O., Cheshinsky, V.L., Trufanova, Yu.N. [et al.]. (2019). Constructive and technological methods of intensifying dough kneading and improving the quality of bread. Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 81-1(79). 232-237. (In Russ.). DOI: 10.20914/2310-1202-2019-1-232-237.

7. Stepycheva, N.V. & Petrova, S.N. (2022). Theoretical and practical aspects of the development of functional bakery products: textbook. St. Petersburg: Trinity Bridge, 184 p. (In Russ.).

8. Melnikova, L.A., Gurnovskaya, E.N. & Tomashevich, S.E. (2016). Characteristics of flax flour as a promising ingredient in the production of sugar cookies with increased nutritional value 4(34). 68-74.

9. Ermosh, L.G., Prisuikhina, N.V., Nepomnyashchikh, E.N. & Savenkov, S.S. (2022). Evaluation of the nutritional value of hemp flour-noi concerning traditional types of gluten-free flour. Bulletin of KrasGAU. 8(185). 194-201. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-8-194-201. (In Russ.).

10. Merenkova, S.P., Potorocho, I.Y. & Ilkov, D.V. (2019). Substantiation of the technology of vegetable milk based on technical hemp seeds and assessment of its nutritional and biological value. Bulletin of SUSU. Ser. Food and biotechnology. 7(3). 41-51. DOI: 10.14529/food190305. (In Russ.).

11. Methodological recommendations. Norms of physiological needs for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation. (2021). MR No. 2.3.1.0253-21 from July 22, 2021. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).

Information about the authors

S.P. Merenkova - is a Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor of the Department of Food and Biotechnology of the South Ural State University.

D.I. Devyatkin - is a master's student of the Department of Food and Biotechnology of the South Ural State University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 15 ноября 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 06 мая 2024.

The article was received by the editorial board on 15 Nov 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 06 May 2024.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 641.053.2:664.681.022.392:582.394.7
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.007



ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАПОРОТНИКА ОРЛЯКА ОБЫКНОВЕННОГО (*PTERIDIUM AQUILINUM*) В ТЕХНОЛОГИИ БИСКВИТОВ ДЛЯ ШКОЛЬНОГО ПИТАНИЯ

Елена Александровна Гуз¹, Наталья Юрьевна Чеснокова²,
Алла Алексеевна Кузнецова³, Николай Михайлович Портнов⁴

¹ Министерство образования Приморского края, Владивосток, Россия

^{2, 3} Передовая инженерная школа «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем, ДВФУ, г. Владивосток, Россия

⁴ Федеральный центр мониторинга питания обучающихся, Москва, Россия

¹ guzelena@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3700-2360>

² chesn_natali@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3713-8831>

³ alku1965@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5972-6904>

⁴ info@cemon.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9520-8928>

Аннотация. В детском питании обязательными компонентами являются хлебобулочные изделия. Тем не менее использование хлебобулочных изделий в питании может приводить к физиологическим нарушениям в организме детей из-за состава, который в основном содержит муку высшего сорта, дрожжи и сахар. Целью данного исследования является анализ хлебобулочной продукции, реализуемой в школьных комбинатах питания различных субъектов Российской Федерации, определение наиболее популярных среди обучающихся видов хлебобулочных изделий, изучение возможности использования дикоросов для обогащения блюд школьного питания и создание сбалансированных изделий на уровне физиологически рекомендуемых норм потребления основных нутриентов. Социологический опрос для выяснения предпочтений использования в рационе школьных столовых хлебобулочных изделий проводился в форме анкетирования обучающихся в разных субъектах Российской Федерации. Органолептическую оценку разработанных изделий, пенообразующую способность, устойчивость пены, плотность бисквитного теста и определение влажности готовых бисквитов проводили согласно нормативной документации на данный вид изделия. Проведен социологический опрос среди учащихся школ различных субъектов Российской Федерации. Определено, что наиболее популярными мучными изделиями в школьных столовых являются сладкие сдобные булочки (около 90 % опрошенных), на втором и третьем местах сосиски в тесте и пиццы (82,3 и 62,3 % соответственно). Анализ технологических карт сборников рецептов на продукцию для обучающихся во всех образовательных учреждениях показал, что сдобные хлебобулочные изделия содержат в своем составе от 9,3 до 47,3 % сахара от допустимой суточной нормы. В качестве альтернативы булочкам из дрожжевого теста были разработаны образцы бисквитов с добавлением пюре папоротника, которым заменяли часть яично-сахарной смеси в исходном продукте. В отличие от сдобных хлебобулочных изделий, бисквиты с добавлением пюре папоротника имеют функциональную направленность. Органолептические показатели образца бисквита с добавлением 15 % пюре папоротника показали лучшие результаты: форма изделия правильная, без вмятин и изломов, цвет поверхности коричневый, мякиша – серовато-коричневый, вкус хорошо пропеченного бисквитного изделия, не влажный, пористость развитая, равномерная, запах приятный, свойственный свежеспеченному бисквиту, без посторонних запахов. При замене яично-сахарной смеси на 15 % пюре папоротника происходило повышение пенообразующей способности бисквитного теста. Устойчивость пены у образца с 15 % содержанием пюре папоротника значительно увеличивалась по сравнению с контрольным образцом. Замена яично-сахарной смеси на пюре папоротника снижало плотность бисквитного теста по сравнению с контрольным образцом. Калорийность готового изделия составляла 255,1 ккал, изделие имело в своем составе белки растительного происхождения – 5,8 г, сниженное количество жиров и углеводов – 5,3 и 46,0 г соответственно.

© Гуз Е. А., Чеснокова Н. Ю., Кузнецова А. А., Портнов Н. М., 2024

Анализ предпочтений школьников по всем административным округам Российской Федерации показал, что большинство обучающихся предпочитают сладкие булочки, сосиски в тесте и пиццы. Разработана технология бисквита с добавлением пюре из папоротника, которым заменяли часть яично-сахарной смеси в исходном продукте. Наилучшими органолептическими и физико-химическими показателями обладало изделие с 15 % содержанием пюре папоротника в бисквитном тесте. Показано, что бисквит с добавлением пюре папоротника имеет функциональную направленность и может являться полноценной заменой сдобным булочкам и другой выпечке из дрожжевого теста.

Ключевые слова: школьное питание, социологический опрос, хлеб и хлебобулочные изделия, бисквит, папоротник Орляк обыкновенный, энергетическая ценность, обогащенные изделия.

Для цитирования: Изучение возможности использования папоротника орляка обыкновенного (*Pteridium Aquilinum*) в технологии бисквитов для школьного питания / Е. А. Гуз [и др.] // Ползуновский вестник. 2024. № 2, С. 53–65. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.007. EDN: <https://elibrary.ru/QFTTQD>.

Original article

STUDYING POSSIBILITY OF USING COMMON BRACKEN FERN (*PTERIDIUM AQUILINUM*) IN TECHNOLOGY OF BISCUITS FOR SCHOOL MEALS

Elena A. Guz¹, Natalia Yu. Chesnokova², Alla A. Kuznetsova³,
Nikolay M. Portnov⁴

¹ Ministry of Education of Primorsky Krai, Vladivostok, Russia

^{2,3} Advanced Engineering School «Institute of Biotechnologies, Bioengineering and Food systems» Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

⁴ Federal Center for Monitoring Nutrition of Students, Moscow, Russia

¹ guzelena@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3700-2360>

² chesn_natali@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3713-8831>

³ alku1965@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5972-6904>

⁴ info@cemon.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9520-8928>

Abstract. Bakery products are mandatory components in the nutrition of children. Nevertheless, the use of bakery products in nutrition can lead to physiological disorders in the body of children due to the composition, which mainly contains premium flour, yeast and sugar. The purpose of this study is to analyze bakery products sold in school food factories of various subjects of the Russian Federation, to determine the most popular types of bakery products among students, to study the possibility of using wild plants to enrich school meals and to create balanced products at the level of physiologically recommended consumption rates of basic nutrients. A sociological survey to find out the preferences of the use of bakery products in the diet of school canteens was conducted in the form of a questionnaire of students in different subjects of the Russian Federation. Organoleptic evaluation of the developed products, foaming ability, foam stability, biscuit dough density and determination of the moisture content of the finished biscuits were carried out according to the regulatory documentation for this type of product. A sociological survey was conducted among school students of various subjects of the Russian Federation. It was determined that the most popular flour products in school canteens are sweet rolls (about 90% of respondents), sausages in dough and pizza are in second and third places - 82.3 and 62.3%, respectively. Analysis of technological maps of collections of recipes for products for students in all educational institutions showed that bakery products contain in their composition from 9.3 to 47.3 % of sugar from the permissible daily allowance. As an alternative to yeast dough buns, samples of sponge cakes were developed with the addition of fern puree, which replaced part of the egg-sugar mixture in the original product. Unlike rich bakery products, biscuits with the addition of fern puree have a functional focus. The organoleptic parameters of the biscuit sample with the addition of 15% fern puree showed the best results - the shape of the product is correct, without dents and fractures, the surface color is brown, the crumb is grayishbrown, the taste of a well-baked biscuit product is not wet, pores.

An analysis of the preferences of schoolchildren in all administrative districts of the Russian Fe-

deration showed that the majority of students prefer sweet rolls, sausages in dough and pizza. A technology has been developed for a sponge cake with the addition of fern puree, which replaced part of the egg-sugar mixture in the original product. The product with 15% content of fern puree in the biscuit dough had the best organoleptic and physicochemical characteristics. It has been shown that a sponge cake with the addition of fern puree has a functional focus and can be a complete replacement for buns and other baked goods made from yeast dough.

Keywords: School meals, sociological survey, bread and bakery products, common bracken, energy value, enriched products.

For citation: Guz, E.A., Chesnokova, N.Yu., Kuznetsova, A.A. & Portnov, N.M. (2024). Studying possibility of using common bracken fern (*Pteridium Aquilinum*) in technology of biscuits for school meals. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 53-65. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.02.007. EDN: <https://elibrary.ru/QFTTQD>.

ВВЕДЕНИЕ

Для большинства потребителей во всем мире хлеб и хлебобулочные изделия являются одной из частей ежедневного рациона питания, они обеспечивают около 3 % суточной калорийности рациона [1]. В соответствии с таблицей 2, приложения 7 к СанПиН 2.3/2.4.3590-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к организации общественного питания населения», детям в возрасте 7–11 лет в сутки требуется в среднем 150 г хлеба пшеничного, детям в возрасте 12 лет и старше – 200 г [2]. Хлеб и хлебобулочные изделия являются обязательным компонентом в детском питании, поскольку содержат такие незаменимые для развития детей нутриенты, как белок, сложные углеводы, минеральные вещества (цинк, железо, магний) и витамины (В₆, фолиевая кислота) [3].

Тем не менее употребление большого количества хлебобулочных изделий в питании может привести к физиологическим нарушениям в организме ребенка из-за состава, который в основном содержит муку высшего сорта, дрожжи и сахар. Известно, что употребление несбалансированных продуктов является одной из причин возникновения различного рода заболеваний [4]. Нарушение структуры питания населения России, а также широкое распространение алиментарно-зависимых заболеваний приводит в последнее время к увеличению сегмента потребителей, которые предпочитают обогащенные виды хлеба [4]. Обогащение хлеба различными добавками способствует увеличению его пищевой и биологической ценности, а также снижению гликемического индекса [5–7]. Это позволяет использовать такие виды хлеба в здоровом и диетическом питании [8, 9].

В соответствии с вышеизложенным, целью данного исследования является анализ хлебобулочной продукции, реализуемой в школьных комбинатах питания различных субъектов Российской Федерации, а также расширение ассортимента школьного питания за счет включение в меню школьников мучных кондитерских

изделий с добавлением пюре папоротника, обладающих функциональной направленностью.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Социологический опрос для выяснения предпочтений использования в рационе школьных столовых хлебобулочных изделий проводился в форме анкетирования обучающихся в разных субъектах Российской Федерации. Анкеты были размещены на сайте Федерального центра мониторинга питания обучающихся (разработчик Дубров М.А.) [10]. Обработка результатов проводилась при помощи MS Excel 2011, Statistica 10 Enterprise, 2011 («Stat Soft, Inc. США»).

Органолептическую оценку разработанных изделий проводили согласно ГОСТ 5897-90. Пенообразующую способность и устойчивость пены определяли по ГОСТ 23409.26-78. Плотность бисквитного теста определяли согласно ГОСТ 15810-2014. Определение влажности готовых изделий проводили по ГОСТ 5900-2014.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Социологические опросы – эффективное средство анализа общественного мнения, именно таким образом можно изучить предпочтения обучающихся к разным продуктам и блюдам, входящим в рационы питания [11]. Анализируя данные опросов, можно сделать вывод о блюдах и изделиях, которые следует включать в меню школьного питания тех или иных субъектов Российской Федерации.

Для изучения предпочтений относительно хлебобулочных изделий Федеральным центром мониторинга питания в октябре – ноябре 2022 г. был проведен социологический опрос обучающихся в различных субъектах Российской Федерации. Школьникам было предложено ответить на вопрос: «Какой выпечке Вы отдаете предпочтение в школьной столовой?». Анализ ответов обучающихся на данный вопрос по Дальневосточному федеральному округу представлен на рисунке 1.

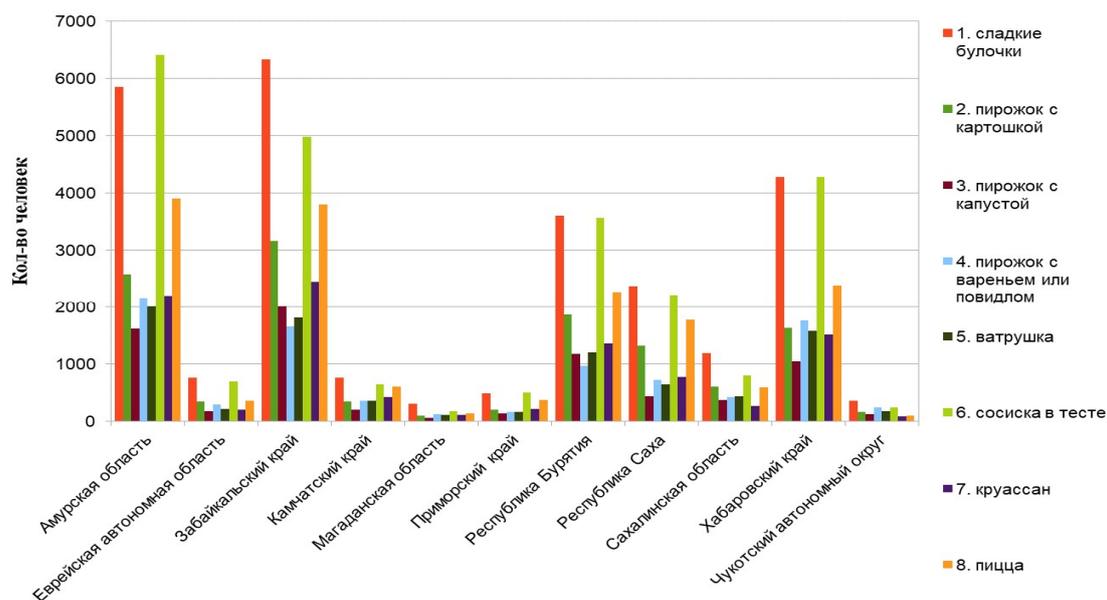


Рисунок 1 – Анализ предпочтений выпеченных изделий учащимися по Дальневосточному федеральному округу
Figure 1 - Analysis of baked goods preferences by students in the Far Eastern Federal District

В результате анализа данных можно сделать вывод, что в Амурской области наибольшим спросом пользуются сосиски в тесте, их предпочитают 47 % обучающихся, на втором месте по предпочтениям – сладкие булочки. 43 % опрошенных предпочитают данный вид выпечки. На третьем месте пользуется спросом пицца – 29 %.

В Забайкальском крае большинство обучающихся предпочитают сладкие булочки (50 % опрошенных), на втором месте по предпочтениям сосиски в тесте – 39 %, на третьем месте – пицца, 30 % школьников любят употреблять данный вид выпечки.

Рассматривая Республику Бурятию и

Хабаровский край, можно понаблюдать о стабильной тенденции предпочтения сладких булочек и сосисок в тесте. Однако четвертое место закрепилось за ватрушкой, такую тенденцию можно проследить по всем регионам ДФО. Таким образом, анализируя данные, полученные по всему Дальневосточному федеральному округу, можно сделать вывод, что у школьников наибольшим предпочтением пользуются сладкие булочки и сосиски в тесте.

Анализ ответов обучающихся на вопрос «Какой выпечке Вы отдаете предпочтение в школьной столовой?» по Приволжскому Федеральному округу представлен на рисунке 2.

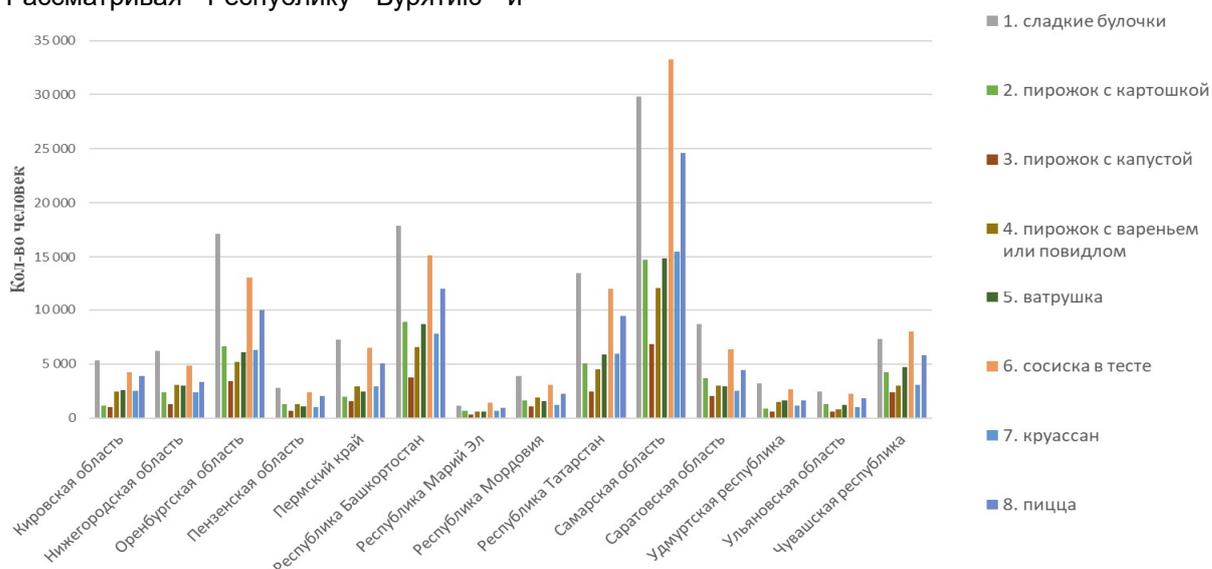


Рисунок 2 – Анализ предпочтений выпеченных изделий учащимися по Приволжскому федеральному округу
Figure 2 - Analysis of baked goods preferences by students in the Volga Federal District

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАПОРОТНИКА ОРЛЯКА ОБЫКНОВЕННОГО (*PTERIDIUM AQUILINUM*) В ТЕХНОЛОГИИ БИСКВИТОВ ДЛЯ ШКОЛЬНОГО ПИТАНИЯ

Анализ ответов на данный вопрос показывает, что по Приволжскому федеральному округу тенденция повторяется, и по-прежнему школьники предпочитают сладкие булочки, сосиски в тесте и пиццы. Эту закономерность можно проследить по всем территориям. Однако четвертое место по данному федераль-

ному округу закрепилось за пирожками с картошкой и круассанами.

Анализ ответов обучающихся на вопрос «Какой выпечке Вы отдаете предпочтение в школьной столовой?» по Центральному федеральному округу представлен на рисунке 3.

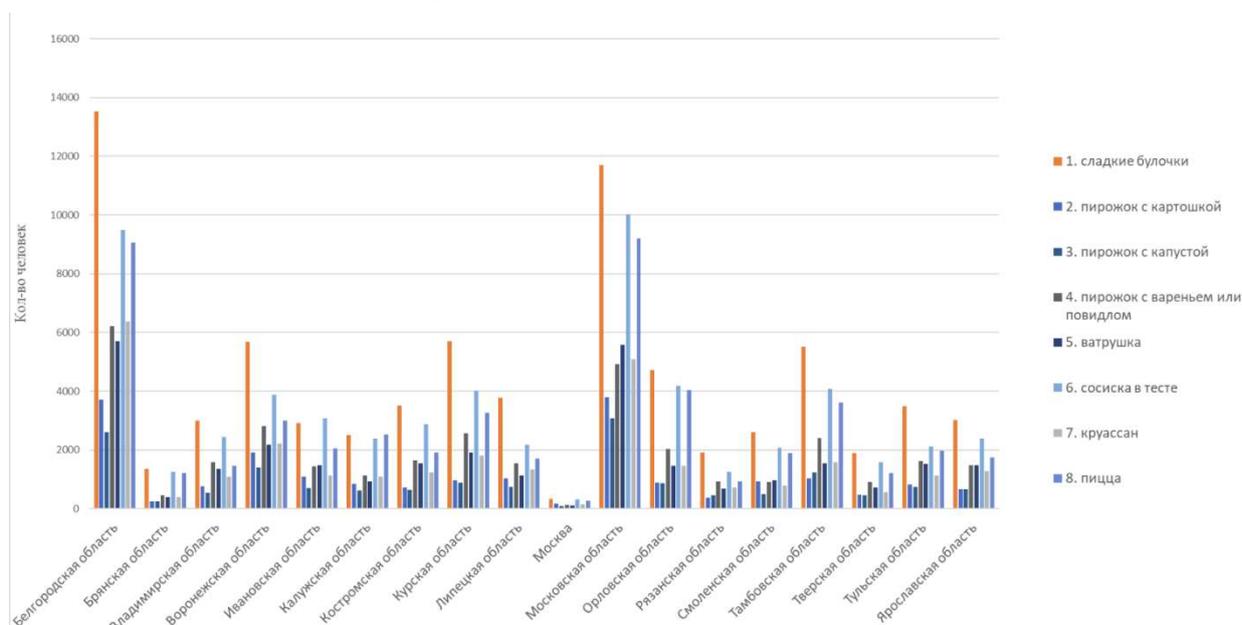


Рисунок 3 – Анализ предпочтений выпеченных изделий учащимися по Центральному федеральному округу
Figure 3 - Analysis of baked goods preferences by students in the Central Federal District

Анализ ответов на данный вопрос показывает, что в Центральном федеральном округе школьники все также предпочитают сладкие булочки, сосиски в тесте и пиццы. Однако четвертое место по данному субъекту

Российской Федерации закрепилось за пирожками с вареньем или повидлом.

Анализ данных по административным округам Российской Федерации представлен на рисунке 4.

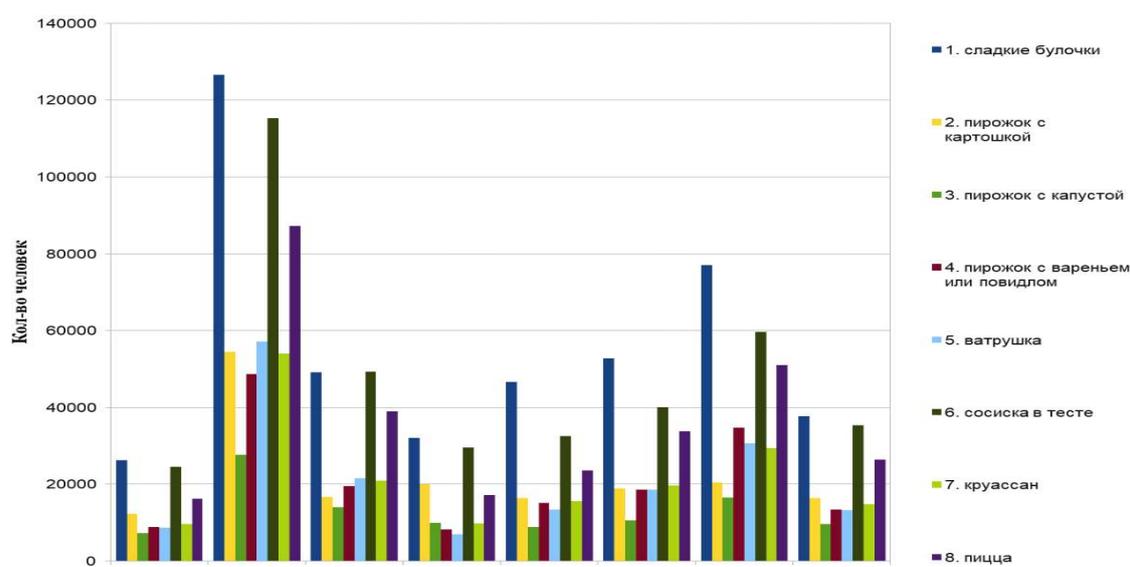


Рисунок 4 – Анализ предпочтений выпеченных изделий учащимися по административным округам Российской Федерации

Figure 4 - Analysis of baked goods preferences by students in administrative districts of the Russian Federation
POLZUNOVSKIY VESTNIK № 2 2024

Таким образом, анализ предпочтений школьников по всем административным округам Российской Федерации позволяет сделать вывод, что 90 % обучающихся предпочитают сладкие булочки, сосиски в тесте, пиццы.

Анализ сборников технологических карт, рецептов блюд кулинарных изделий для школьного питания для обучающихся во всех

образовательных учреждениях показал [12, 13], что сдобные булочные изделия могут изготавливаться в следующем ассортименте: сдоба обыкновенная, булочка ванильная, домашняя, дорожная, с повидлом обсыпанная, школьная. Сводная рецептура вышеуказанных изделий приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Сводная рецептура сдобных булочных изделий для школьного питания (на 100 шт. готовых изделий)

Table 1 – Summary recipe of pastry products for school meals (per 100 pieces of baked goods)

Наименование сырья	Единицы измерения	Сдоба обыкновенная	Булочка ванильная	Булочка домашняя	Булочка дорожная	Булочка с повидлом обсыпанная	Булочка школьная
Мука пшеничная 1 сорта	г	3556	6555	6417	6302	6104	4682
Мука пшеничная 1 сорта (на подпыл)	г	148	200	338	200	200	234
Сахар песок	г	370	1150	1100	1200	1200	281
Сахар песок (для отделки)	г			320			
Маргарин	г		855	1485	1502	1502	141
Масло растительное	г						24
Маргарин (для смазки)	г				200	200	
Масло сливочное	г	111					
Масло сливочное (для разделки)	г	148					
Меланж	г		395				
Меланж (для смазки)	г	133	200	190			
Соль	г	56	95	60	60	60	71
Дрожжи прессованные	г	56	135	170	150	150	47
Повидло	г					800	
Ванилин	г		5				
Итого сырья	г	4578	9590	10080	9614	10216	5480
Вода	г	1560	3000	2850	3050	3050	2410
Масса полуфабриката	г	5750	11700	12080	11800	11800	7100
Выход всего	г	5000	10000	10000	10000	10000	6000
Выход одного изделия	г	50	100	100	100	100	60
Количество сахара в одном изделии	г	3,7	11,5	14,2	12	12	2,81

В соответствии с таблицей 2, приложения 7 СанПиН 2.3/2.4.3590-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к организации общественного питания населения», среднесуточное количество сахара (в том числе для приготовления блюд и напитков) составляет

30–35 г для детей 7–11 лет и 12 лет и старше соответственно. При включении в рацион питания школьников сладкой выпечки количество сахара в одном изделии может достигать половину нормы, рекомендованной СанПиН.

Кроме того, хлебобулочные изделия за

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАПОРОТНИКА ОРЛЯКА ОБЫКНОВЕННОГО (*PTERIDIUM AQUILINUM*) В ТЕХНОЛОГИИ БИСКВИТОВ ДЛЯ ШКОЛЬНОГО ПИТАНИЯ

счет присутствия такого количества сахара обладают высокой энергетической ценностью, при этом пищевая ценность данных изделий остается достаточно низкой. В «Стратегии развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации на период до 2030 года» определено, что производство мучных изделий обладает довольно высоким потенциалом для развития в области создания специализированных функциональных продуктов питания, что может способствовать организации

сбалансированных рационов на уровне физиологически рекомендуемых норм потребления функциональных ингредиентов, благоприятных для сохранения здоровья обучающихся [14].

В связи с этим становится актуальной разработка рецептур мучных изделий с пониженным содержанием сахара и добавлением в них различных дикорастущих трав, произрастающих в Приморском крае в качестве дополнительного источника пищевых волокон, белков и других необходимых организму нутриентов.

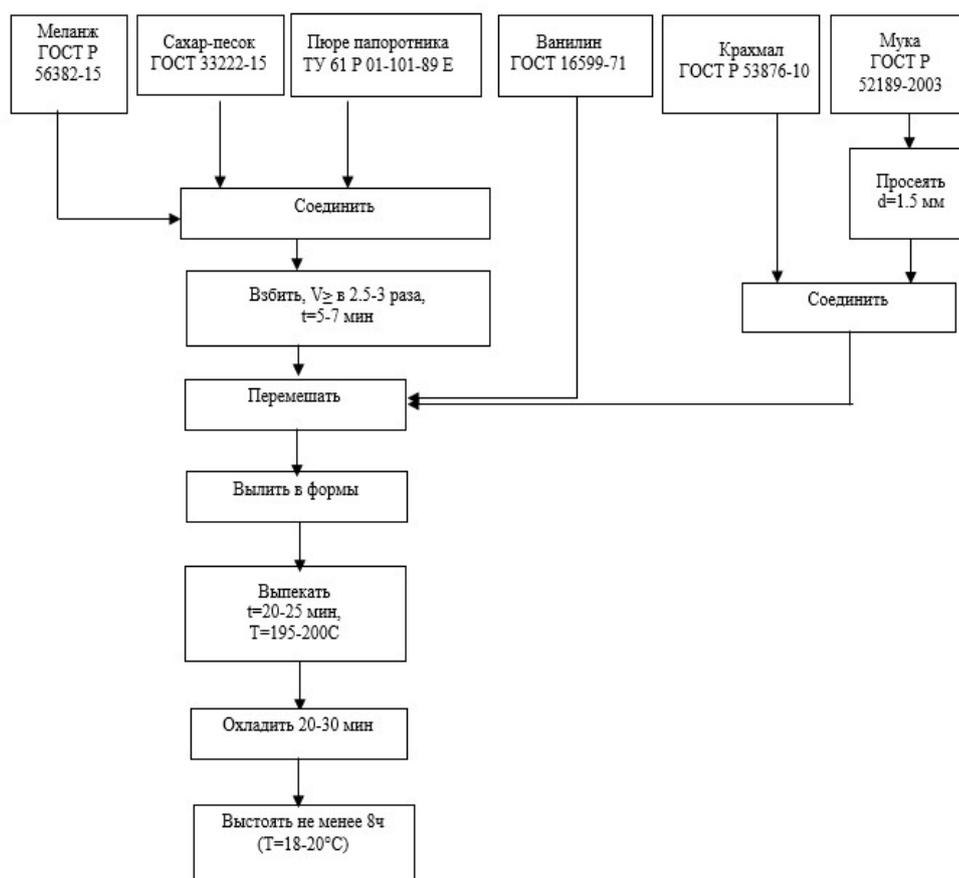


Рисунок 5 – Технологическая схема производства бисквита с добавлением пюре папоротника

Figure 5 - Technological scheme of biscuit production with the addition of mashed fern

Одним из ценных дикоросов Приморской тайги является папоротник обыкновенный. Орляк обыкновенный (*Pteridium aquilinum*) – популярный вид папоротника, широко распространенный в Юго-Восточной Азии, а также в Приморском крае [15]. *P. aquilinum* широко употребляются в пищу как дикорастущий овощ во всем мире [16, 17]. Количество белков в папоротнике составляет 26 % от сухой массы, что практически не отличает его от таких грибов, как опята, а из овощей – от белокочанной капусты и картофеля [18].

Каркас клеток папоротника состоит из целлюлозы (12,5 %) [20]. Почти в равных с целлюлозой количествах присутствует лигнин

(11,7 %). Пектиновые вещества и гемицеллюлозы содержатся в папоротнике почти в равных количествах, 5,0 и 6,9 % соответственно. При этом более 60 % от суммы пектиновых веществ составляет протопектин, также способствующий механической прочности тканей. Доля гемицеллюлозы в сухом остатке папоротника составляет 6 % [21]. Кроме того, характерной особенностью папоротника Орляка является высокое содержание железа, меди, цинка, калия, витаминов А, С и группы В.

Таким образом, благодаря богатому нутриентному составу папоротник может быть предложен в качестве функционального ингредиента в различные мучные изделия.

В качестве альтернативы булочкам из дрожжевого теста были разработаны образцы бисквитов с добавлением папоротника. Изделия из бисквитного теста характеризуются тем, что в их технологии не применяются никакие разрыхлители: ни биологические (дрожжи), ни химические (сода, углекислый аммоний), что отвечает принципам здорового питания.

В разработанные образцы бисквитов папоротник вводили в виде пюре и заменяли им часть яично-сахарной смеси бисквитного теста. В основу технологии бисквита с добавлением пюре папоротника была взята схема приготовления бисквита по Сборнику рецептур мучных кондитерских и булочных изделий [22]. Схема производства бисквита с добавлением пюре папоротника представлена на рисунке 5.

Таблица 2 – Органолептические показатели разработанных бисквитов с различным содержанием пюре папоротника

Table 2 -Organoleptic characteristics of the developed biscuits with different contents of fern puree

Наименование образца	Органолептические показатели				
	Внешний вид	Цвет	Состояние мякиша	Запах	Вкус
Контроль (без добавки)	Изделие правильной формы, без вмятин и изломов	Цвет поверхности коричневый, мякиша желтоватый	Хорошо пропеченный, не влажный на ощупь, пористость развитая, равномерная	Приятный, свойственный свежесыпеченному бисквиту, без посторонних запахов	Приятный, свойственный свежесыпеченному бисквиту, без посторонних привкусов
Образец № 1 (10 % пюре папоротника)	Изделие правильной формы, без вмятин и изломов	Цвет поверхности коричневый, мякиша серовато-коричневый	Хорошо пропеченный, не влажный на ощупь, пористость развитая, равномерная	Приятный, свойственный свежесыпеченному бисквиту, без посторонних запахов	Приятный, свойственный свежесыпеченному бисквиту, без посторонних привкусов
Образец № 2 (15 % пюре папоротника)	Изделие правильной формы, без вмятин и изломов	Цвет поверхности коричневый, мякиша серовато-коричневый	Хорошо пропеченный, не влажный на ощупь, пористость развитая, равномерная	Приятный, свойственный свежесыпеченному бисквиту, без посторонних запахов	Приятный, свойственный свежесыпеченному бисквиту, без посторонних привкусов
Образец № 3 (20 % пюре папоротника)	Изделие правильной формы, без вмятин и изломов	Цвет поверхности коричневый, мякиша серовато-коричневый	Хорошо пропеченный, не влажный на ощупь, пористость развитая, равномерная	Приятный, свойственный свежесыпеченному бисквиту, со слабовыраженным запахом папоротника	Приятный, свойственный свежесыпеченному бисквиту, с выраженным привкусом папоротника

Были разработаны образцы бисквитного теста с заменой яично-сахарной смеси на пюре папоротника в количестве 10, 15, 20 и 25 %. Органолептические показатели разработанных изделий из бисквитного теста с добавлением пюре папоротника оценивали по 5-балльной шкале. Основными показателями качества органолептической оценки бисквита являются: внешний вид, цвет, состояние мякиша, вкус и запах. В таблице 2 приведены органолептические показатели разработанных образцов. Профилограммы балльной оценки органолептических показателей образцов бисквита с заменой яично-сахарной смеси на пюре папоротника в количестве от 10 до 25 % представлены на рисунке 6.

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАПОРОТНИКА ОРЛЯКА ОБЫКНОВЕННОГО (*PTERIDIUM AQUILINUM*) В ТЕХНОЛОГИИ БИСКВИТОВ ДЛЯ ШКОЛЬНОГО ПИТАНИЯ

Таблица 2 / Table 2

Наименование образца	Органолептические показатели				
	Внешний вид	Цвет	Состояние мякиша	Запах	Вкус
Образец № 4 (25 % пюре папоротника)	Изделие правильной формы, без вмятин и изломов	Цвет поверхности коричневый, мякиша серовато-коричневый	Хорошо пропеченный, не влажный на ощупь, пористость развитая, равномерная	Приятный, свойственный свежевыпеченному бисквиту, с выраженным запахом папоротника	Приятный, свойственный свежевыпеченному бисквиту, с выраженным привкусом папоротника

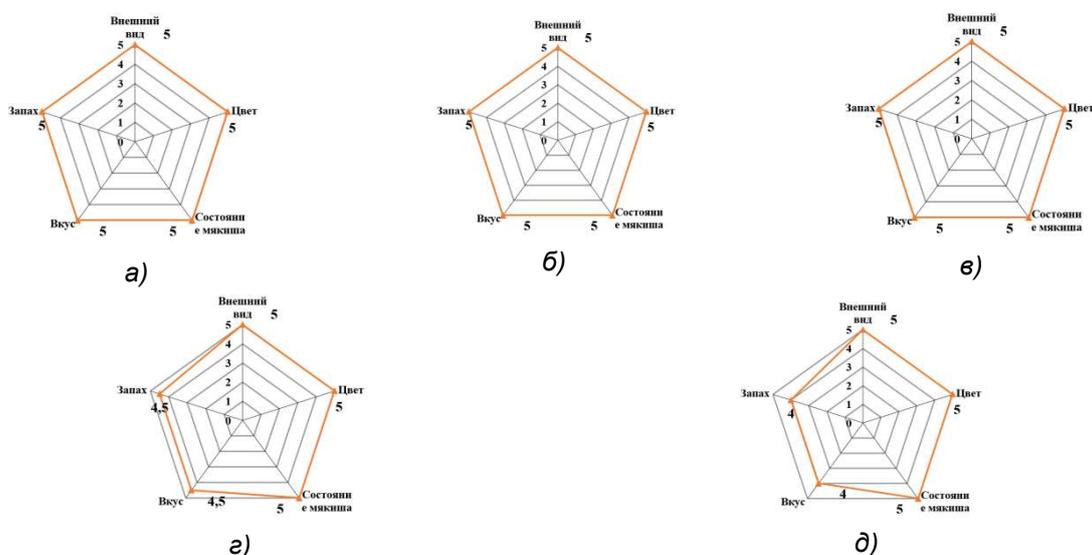


Рисунок 6 – Профилограммы балльной оценки органолептических показателей образцов бисквита без добавок (а) и с заменой яично-сахарной смеси на пюре папоротника в количестве 10 % (б), 15 % (в), 20 % (г) и 25 % (д)

Figure 6 - Profilograms of the score assessment of organoleptic indicators of the sample biscuit without additives (a) and with the replacement of the egg-sugar mixture with fern puree in the amount of 10% (b), 15% (c), 20% (d) and 25% (e)

На основании данных таблицы 2 и рисунка 6 можно сделать вывод, что наилучшими органолептическими характеристиками в сравнении с контрольным образцом обладают образцы № 1, № 2 (с заменой 10 и 15 % яично-сахарной смеси на пюре папоротника).

Изделия обладали развитой и равномерной пористостью, не ухудшали показатели вкуса, и запаха. При проведении органолептической оценки руководствовались тем, чтобы максимально увеличить содержание пюре папоротника в бисквитном тесте, поэтому наилучшими органолептическими показателями по сравнению с контрольным образцом обладал образец № 2 с 15 % заменой яично-сахарной смеси на пюре папоротника.

У образцов № 3 и № 4 с заменой 20 и 25 % яично-сахарной смеси на пюре папоротника соответственно, органолептические показатели ухудшились по сравнению с контрольным образцом, поскольку, присутствовали выраженные вкус и запах папоротника.

POLZUNOVSKIY VESTNIK № 2 2024

Согласно литературным данным, введение овощных пюре в бисквитное тесто повышает его структурно-механические свойства: увеличивается пенообразующая способность, повышается устойчивость пены, снижается плотность теста [23].

Влияние пюре папоротника на пенообразующую способность бисквитного теста представлено на рисунке 7.

Из рисунка 7 видно, что при замене до 15 % яично-сахарной смеси на пюре папоротника (образец № 2) происходит максимальное повышение пенообразующей способности. Вследствие замены 20 % яично-сахарной смеси на пюре папоротника (образец № 3) пенообразующая способность равна контрольному образцу. При дальнейшем снижении доли яиц и сахара и соответствующем увеличении количества вносимого пюре папоротника более 20 % (образец № 4) пенообразующая способность начинает снижаться.

На рисунке 8 представлены показатели устойчивости пены яично-сахарной смеси с добавлением пюре папоротника исследуемых об-

разцов.

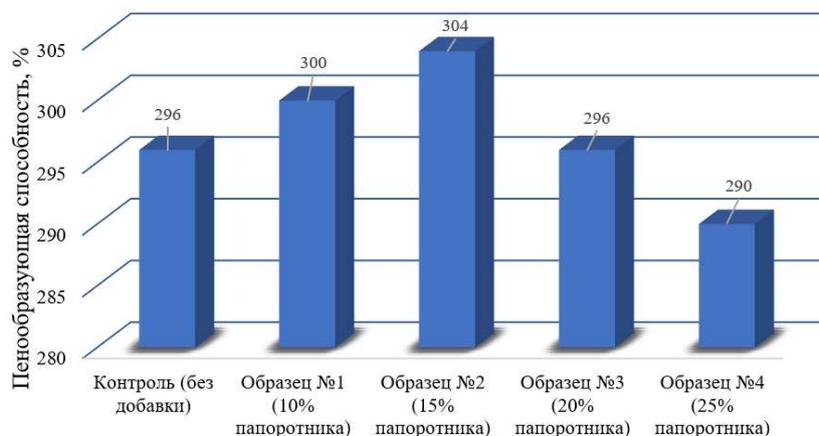


Рисунок 7 – Влияние количества пюре папоротника на пенообразующую способность бисквитного теста
Figure 7 - The effect of the amount of mashed fern on the foaming ability of the biscuit dough

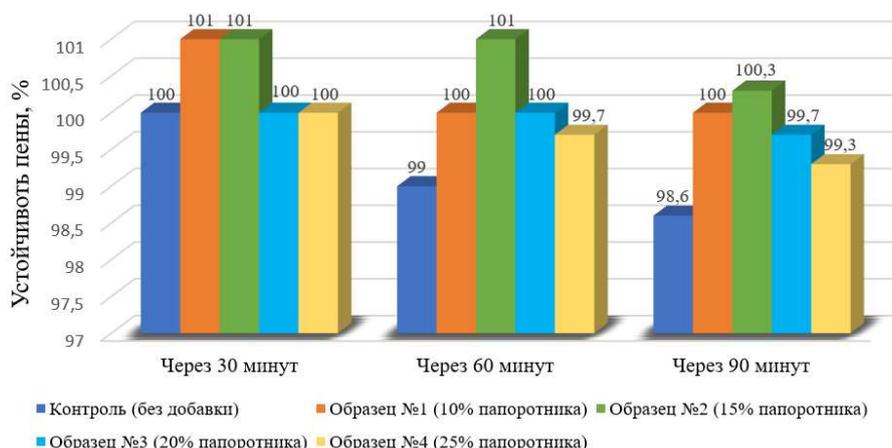


Рисунок 8 – Влияние времени и количества вносимого пюре папоротника на показатели устойчивости пены яично-сахарной смеси

Figure 8 - The effect of the time and amount of mashed fern on the stability of the foam of the egg-sugar mixture

Анализируя данные рисунков 7 и 8, можно сделать вывод, что пенообразующая способность яично-сахарной смеси и устойчивость пены у образцов № 1 (10 % пюре папоротника) и № 2 (15 % пюре папоротника) значительно увеличивается по сравнению с контрольным образцом. Вероятно, это связано с содержанием в пюре папоротника пектиновых веществ, которые обладают эмульгирующими и стабилизирующими свойствами. Адсорбируясь на поверхности раздела фаз воздух – жидкая часть теста и взаимодействуя с белками яйца, они повышают подвижность межфазных адсорбционных слоев с одновременным увеличением прочности оболочки воздушного пузырька.

Дальнейшее увеличение пюре папоротника более 20 % ведет к понижению структурно-механических показателей пены и ухудшает показатели теста. Это связано с тем, что происходит дальнейшее насыщение адсорбционного слоя пены, подвижность которого вследствие укрепле-

ния (структурирования) снижается. Чрезмерно высокая прочность структуры в адсорбционном слое понижает его подвижность и приводит к снижению стабилизирующего действия адсорбционного слоя из-за образования хрупких разрывов. Это будет сказываться в дальнейшем на органолептических показателях готовых изделий.

Результаты исследования плотности бисквитного теста представлены на рисунке 9.

Анализируя данные рисунка 9, можно сделать вывод, что при замене яично-сахарной смеси в количестве 10 % на пюре папоротника происходит уменьшение плотности теста по сравнению с контрольным образцом на 5 кг/м³. Замена яично-сахарной смеси в количестве 15 % на пюре папоротника максимально снижает плотность бисквитного теста по сравнению с контрольным образцом на 10 кг/м³. Это объясняется тем, что пюре папоротника выполняет роль природного поверхностно активного соединения. Содержащийся в пюре папоротника пе-

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАПОРОТНИКА ОРЛЯКА ОБЫКНОВЕННОГО (*PTERIDIUM AQUILINUM*) В ТЕХНОЛОГИИ БИСКВИТОВ ДЛЯ ШКОЛЬНОГО ПИТАНИЯ

нообразующий агент способствует насыщению адсорбционного слоя молекулами пектиновых веществ. В результате взбивания яично-сахарной смеси с пюре папоротника пенообразующая способность и устойчивость пены уве-

личиваются. Пена становится более крепкой и стабильной, что обеспечивает в дальнейшем получение бисквитного полуфабриката по качеству, не уступающему бисквиту, выпеченному со 100 % по рецептуре содержанием яиц и сахара.

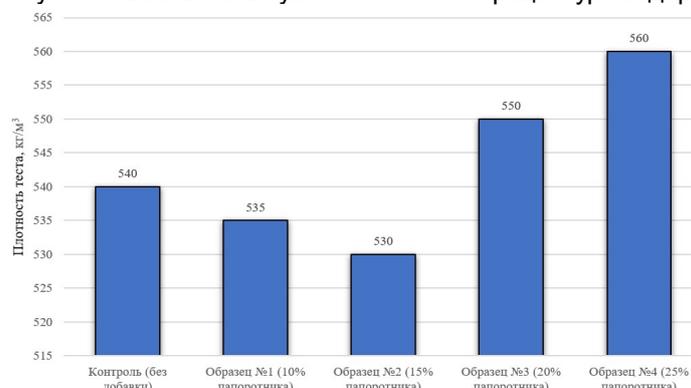


Рисунок 9 – Влияние количества пюре папоротника на плотность бисквитного теста

Figure 9 - The effect of the amount of mashed fern on the density of the biscuit dough

Вследствие замены в количестве 20 % яично-сахарной смеси на пюре папоротника (образец № 3) плотность теста равна контрольному образцу. При дальнейшем снижении доли яиц и сахара и соответствующем увеличении количества вносимого пюре папоротника плотность бисквитного теста увеличивается по сравнению с контрольным образцом. Повышение плотности теста происходит за счёт того, что прочность межфазного слоя резко падает. Это ведет к ухудшению качества выпеченного бисквитного полуфабриката, что не отвечает стандартным показателям плотности бисквитного теста (ГОСТ 15810-2014).

На основании изучения структурно-механических свойств бисквитного теста с добавлением пюре папоротника можно сде-

лать вывод, что оптимальной добавкой является образец № 2 с заменой яично-сахарной смеси на пюре папоротника в количестве 15 %.

Таким образом, наилучшими органолептическими и физико-химическими показателями обладает образец № 2 с 15 % содержанием пюре папоротника в бисквитном тесте.

Вносимая добавка также оказывает положительное влияние на более длительное сохранение свежести готовых бисквитов. Для исследования влияния пюре папоротника на влажность готовых бисквитов при хранении разработанные образцы выдерживали в течение 72 часов. Влияние времени хранения образцов бисквита на влажность готовых изделий приведены на рисунке 10.

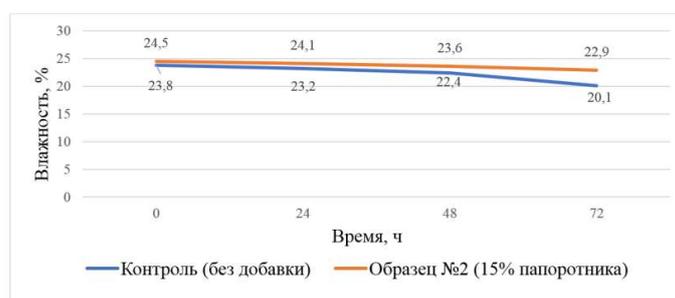


Рисунок 10 – Влияние времени хранения образцов бисквита на влажность готовых изделий

Figure 10 - The effect of the storage time of biscuit samples on the moisture content of finished products

Из рисунка 10 видно, что в первые 24 часа хранения влажность контрольного и исследуемого образцов лишь незначительно изменяется. После 48 часов хранения влажность контрольного образца начинает значительно уменьшаться по сравнению с исследуемым. Динамика изменения влажности разработанного бисквита идет более плавно и снижается незначительно по сравнению с контрольным образцом. Согласно *POLZUNOVSKIY VESTNIK № 2 2024*

но литературным данным [24], пюре папоротника содержит большое количество белка и пищевых волокон. Вероятно, это способствует лучшему удержанию влаги и большему сохранению свежести разработанного бисквита.

Результаты расчета энергетической ценности бисквита с добавлением 15 % пюре папоротника и контрольного образца представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Содержание основных питательных веществ и энергетическая ценность готового продукта
Table 3 - The content of essential nutrients and the energy value of the finished product

Наименование образца	Показатели			
	Белки, г	Жиры, г	Углеводы, г	Энергетическая ценность, Ккал
Контроль (без добавки)	7,2	6,6	55,8	309,4
Образец № 2 (15 % пюре папоротника)	5,8	5,3	46	255,1

На основании выполненных расчетов было определено, что бисквит с добавлением пюре папоротника содержит больше белка, меньше жира и углеводов по сравнению с контрольным образцом. Это повлияло на снижение энергетической ценности разработанного изделия. Также пюре папоротника обогащает изделие большим количеством пищевых волокон, минеральных веществ, витаминов и способствует увеличению общего состава незаменимых аминокислот.

Хочется отметить, что в изделиях из бисквитного теста содержится больше рецептурного сахара, чем в сдобных дрожжевых изделиях. Введение в рецептуру бисквитов пюре папоротника будет способствовать уменьшению всасывания глюкозы в тонком кишечнике благодаря вязкости частично гидролизованных пищевых волокон [25]. В результате возможно замедление всасывания глюкозы в тонкой кишке, не происходит резкого выброса большого количества инсулина и скачка глюкозы в крови, что положительно будет влиять на здоровье школьников.

Анализируя данные, полученные в ходе исследования, можно сделать вывод, что пюре из папоротника обогащает полученные бисквитные изделия необходимыми для растущего организма школьника нутриентами, расширяет ассортимент мучных изделий, а также является полноценной заменой сдобным булочками и другой выпечке из дрожжевого теста.

Выводы. В результате исследований был проведен социологический опрос среди учащихся различных субъектов Российской Федерации, на основании которого было определено, что наиболее популярными хлебобулочными изделиями в школьных столовых являются сладкие булочки (около 90 % опрошенных), на втором месте по популярности – сосиски в тесте и пиццы (82,3 и 62,3 % соответственно). Анализ технологических карт сборников рецептур на продукцию для обучающихся во всех образовательных учреждениях показал, что сдобные хлебобулочные изделия содержат в своем составе от 9,3 до 47,3 % сахара от допустимой нормы, рекомендованной СанПиН 2.3/2.4.3590-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к организации общественного питания населения».

В качестве альтернативы изделиям из сдобного дрожжевого теста была разработана рецептура бисквита с добавлением пюре из папоротника, которым заменяли часть яично-сахарной смеси в исходном продукте. При замене яично-сахарной смеси на 15 % пюре папо-

ротника происходило повышение пенообразующей способности. Устойчивость пены у образца с 15 % пюре папоротника значительно увеличивается по сравнению с контрольным образцом. Замена яично-сахарной смеси на пюре папоротника максимально снижает плотность бисквитного теста по сравнению с контрольным образцом. Органолептические показатели образца бисквита с добавлением 15 % пюре из папоротника показали лучшие результаты – форма изделия правильная, без вмятин и изломов, цвет поверхности коричневый, мякиша серовато-коричневый, вкус хорошо пропеченного бисквитного изделия, не влажный, пористость развитая, равномерная, запах – приятный, свойственный свежесдобному бисквиту, без посторонних запахов. Калорийность готового изделия составляет 255,1 ккал, изделие имеет в своем составе белки растительного происхождения – 5,8 г, сниженное количество жиров и углеводов – 5,3 и 46 г соответственно. Таким образом, бисквит с добавлением пюре папоротника имеет функциональную направленность и может являться полноценной заменой сдобным булочкам и другой выпечке из дрожжевого теста.

REFERENCES / СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Rod'kina N.A., Sapozhnikov A.N., Zolotareva G.V. Is-sledovanie znacheniya hleba v pitanii uchashchihhsya mladshego shkolfnogo vozrasta gimnazii №15 «Sodruzhestvo» g. Novosibirsk [Study of the importance of bread in the diet of primary school students at gymnasium No. 15 "Commonwealth", Novosibirsk]. Vestnik KrasGAU [The Bulletin of KrasGAU]. 2014;7: 234-238. (In Russ.).
- Sanitarno-epidemiologicheskie pravila i normy SanPiN 2.3/2.4.3590-20 «Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k organizacii i obshchestvennogo pitaniya naseleniya». 2020. 39 p. (In Russ.).
- Catak J., Gizlici M.N. The effect of in vitro simulated gastrointestinal digestive system on the biodegradation of B group vitamins in bread. Heliyon. 2022; 8(10): 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11061>.
- Misteneva S.Yu. Products of whole grain processing and prospects of their use in production of flour confectionery. Food systems. 2022; 5(3):249-260. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-249-260>.
- Zhang Y., Xu M., Zhang X., Hu Y. & Luan G. Application of zein in gluten-free foods: A comprehensive review. Food Research International. 2022: 111722. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111722>.
- Scherf K.A. Immunoreactive cereal proteins in wheat allergy, non-celiac gluten/ wheat sensitivity (NCGS) and celiac disease. Current Opinion in Food Science. 2019; 25: 35-41. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.02.003>.
- Nissen L., Casciano F., Chiarello E., Nunzio M.D., Bordon A., Gianotti A. Sourdough process and spirulina-enrichment can mitigate the limitations of colon fermentation performances of gluten-free breads in non-celiac gut model

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАПОРОТНИКА ОРЛЯКА ОБЫКНОВЕННОГО (*PTERIDIUM AQUILINUM*) В ТЕХНОЛОГИИ БИСКВИТОВ ДЛЯ ШКОЛЬНОГО ПИТАНИЯ

Food Chemistry. 2024; 436: 137633. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137633>.

8. Docenko V.A., Kononenko I.A. Novyj vid hleba v pitanii zdorovogo i bol'nogo cheloveka [A new type of bread in the diet of healthy and sick people]. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and Sanitation] 2013; 2: 55-58. (In Russ.).

9. Matsuoka T.M., Tsuchida A., Yamaji A., Kurosawa C., Shinohara M., Takayama I. [et al.]. Consumption of a meal containing refined barley flour bread is associated with a lower postprandial blood glucose concentration after a second meal compared with one containing refined wheat flour bread in healthy Japanese: A randomized control trial. *Nutrition*. 2020; 72: 110637. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nut.2019.110637>.

10. Federal'nyj centr monitoring pitaniya obuchayushchihsya, Ssylka na materialy centra: <https://фцмпно.рф/>, Data obrashcheniya 20.07.2023. (In Russ.).

11. Adamchuk D.V. Processy organizatsii shkol'nogo pitaniya: po materialam sociologicheskogo oprosa predstavitelej organov upravleniya obrazovaniem regional'nogo i municipal'nogo uprovnej [Processes of organizing school meals: based on materials from a sociological survey of representatives of educational authorities at the regional and municipal levels]. *Upravlenie obrazovaniem: teoriya i praktika* [Education Management Review]. 2020; 11(41): 183-195. (In Russ.).

12. Sbornik tekhnologicheskikh kart, receptur blyud kulinarnykh i izdelij dlya shkol'nogo pitaniya. OOO Firma «Partner». Ufa. 2021; 1-2: 233 p. (In Russ.).

13. Perevalov A.Ya., Tapeshkina N.V. Edinyj sbornik tekhnologicheskikh normativov, receptur blyud i kulinarnykh izdelij dlya detskikh uchrezhdeniya [A unified collection of technological standards, recipes for dishes and culinary products for children's institutions]. Edition 4. Perm'. 2021. 410 p. (In Russ.).

14. Strategiya povysheniya kachestva pishhevoj produkcii v Rossijskoj Federacii do 2030 goda / Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 29.06.2016. № 1364-р [Strategy for improving the quality of food products in the Russian Federation until 2030/Order of the Government of the Russian Federation dated June 29, 2016. No. 1364-р]. 14 p. (In Russ.).

15. Choi Y.H., Choi C.W., Kim J.K., Jeong W., Park G.H., Hong S.S. Pterostide N and pterosinone, new BACE1 and cholinesterase inhibitors from *Pteridium aquilinum*. *Phytochemistry Letters*. 2018; 27: 63-68. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phytol.2018.06.021>.

16. Wang H., Wu S. Preparation and antioxidant activity of *Pteridium aquilinum*-derived oligosaccharide. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2013; 61: 33-35. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.06.053>.

17. Hao J.W., Liu X.Q., Chen N.D., Zhu A.L. Solid-phase extraction followed by direct TOF-MS-MS and HPLC analysis of ptaquiloside in *Pteridium aquilinum* from different places of China. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2021; 98: 103845. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103845>.

18. Kupchak D.V., Sinyayeva A.A. Sovershenstvovanie receptur i tekhnologii i kulinarnoj produkcii s ispol'zovaniem paporotnika-orlyaka (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn). [Improving Recipes and Technology of Culinary Products with the Use of Bracken (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn)] *Vestnik Sibirskogo universiteta potrebitel'skoj kooperacii* [Bulletin of the Siberian University of Consumer Cooperation]. 2020; 1: 35-39. (In Russ.).

19. Cheremnyh D.A., Gubanenko G.A., Rechkina E.A., Mayumnikova L.A., Teplyuk N.Yu. Biological value of fern protein (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn). *Food Processing: Techniques and Technology*. 2022; 52(2): 417-425. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2374>.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 23 ноября 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 06 мая 2024.

The article was received by the editorial board on 23 Nov 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 06 May 2024.

20. Saimaiti M., Genclep H. Thermal and molecular characteristics of novel water-soluble polysaccharide from the *Pteridium aquilinum* and *Dryopteris filix-mas*. *Food Chemistry Advances*. 2023; 3: 100401. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100401>.

21. Rechkina E.A., Mayumnikova L.A., Teplyuk N.Yu. Biological value of fern protein. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2022; 52(2): 417-425. DOI: <http://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2374>.

22. Sbornik receptur muchnykh konditerskikh i bulochnykh izdelij dlya predpriyatij obshchestvennogo pitaniya: Spravochnik [Collection of recipes for flour confectionery and bakery products for catering establishments: Directory]. St. Petersburg: Troickij most, 2017. 194 p. (In Russ.).

23. Onacik-Gür S., Zbikowska A. The effect of green tea extract and oleogels on the physico-chemical properties and oxidative stability of short-dough biscuits during storage. *LWT*. 2022; 172: 114197. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114197>.

24. Huang J., Zhang Y., Jianga L., Yua Z. Comparative proteomics analysis of differential proteins in response to 6-benzylaminopurine treatment in *Pteridium aquilinum* senescence. *Postharvest Biology and Technology*. 2016; 116: 66-74. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.12.030>.

25. Takahashi T., Yokawa T., Ishihara N., Okubo T., Chu D.C., Nishigaki E. [et al.]. Hydrolyzed guar gum decreases postprandial blood glucose and glucose absorption in the rat small intestine. *Nutr Res*. 2009; 29(6): 419-425. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2009.05.013>.

Информация об авторах

Е. А. Гуз – специалист Министерства образования Приморского края.

Н. Ю. Чеснокова – доктор тех. наук, доцент, доцент Базовой кафедры пищевой и клеточной инженерии ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет».

А. А. Кузнецова – к. т. н., доцент, доцент Базовой кафедры пищевой и клеточной инженерии ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет».

Н. М. Портнов – к. т. н., начальник отдела Федерального центра мониторинга школьного питания, Федеральный центр мониторинга питания обучающихся.

Information about the authors

E.A. Guz - Specialist of the Ministry of Education of the Primorsky Territory.

N.Yu. Chesnokova - Doctor of Technical Sciences, Professor, professor of the Department of Food Science and Technology Advanced Engineering School «Institute of Biotechnologies, bio-engineering and food systems» Far Eastern Federal University.

A.A. Kuznetsova - Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Food Science and Technology of the Department of Food Science and Technology Advanced Engineering School «Institute of Biotechnologies, bioengineering and food systems» Far Eastern Federal University.

N.M. Portnov - Associate Professor of Technical Sciences, Head of the Department of the Federal Center for Monitoring School Nutrition, Federal Center for Monitoring the Nutrition of Students.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.8.047:637.52

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.008



СПОСОБ СОХРАНЕНИЯ КАЧЕСТВА МЯСНОГО СЫРЬЯ ПРИ ПРИГОТОВЛЕНИИ КОНЦЕНТРАТОВ ОБЕДЕННЫХ БЛЮД БЫСТРОГО ПРИГОТОВЛЕНИЯ

Демина Екатерина Николаевна¹, Симоненкова Анна Павловна²,
Соловьева Анна Олеговна³

^{1,2} Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, Орёл, Россия

³ Орловский государственный университет им. Н.В. Парахина, Орёл, Россия

¹ deminakate1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2441-1907>

² simonenkova1@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8780-4949>

³ annasolo57@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0008-8636-1283>

Аннотация. Сублимационная сушка в последние несколько лет признана перспективным направлением в переработке мясного сырья, позволяющая сохранить качество продукта. Несмотря на очевидные преимущества этого способа, сублимационная сушка имеет и недостатки: длительность технологического цикла, излишне плотная (жесткая) структура, снижение товарного вида готовых продуктов (потемнение), тщательный отбор сырья для сушки. Авторы предлагают исправить эти недостатки, применяя предварительную обработку мясного сырья по су-вид технологии. В качестве объектов исследования использовали куриное филе и говядину 1 категории. Полученные результаты оценивали по органолептическим, физико-химическим и функционально-технологическим показателям по общепринятым методикам. В результате разработана технологическая схема подготовки мясного сырья, предусматривающая применение предварительной обработки по су-вид технологии, включающей измельчение мяса (нарезание поперек мышечных волокон) на кусочки размерами от 10 до 15 мм, термическую обработку в условиях вакуума в течение 1,5–2 часов для куриной грудки и говядины соответственно, замораживание при температуре –20 °С в течение 1 часа. Сублимационную сушку вели в лиофилизаторе в условиях глубокого разряжения при температуре –16 °С в течение 16–18 часов с последующим досушиванием при температуре 45 °С в течение 4–6 часов. Предлагаемые технологические решения позволят сократить затраты на производство за счет исключения предварительного посола сырья (предлагаемого для повышения качества сублимированного мяса), уменьшения материалоемкости и энергозатратности процесса, получить продукты, обладающие хорошими органолептическими показателями, имеющие высокий технологический потенциал, которые могут быть использованы в качестве основного сырья при составлении рецептур обеденных блюд быстрого приготовления.

Ключевые слова: сублимационная сушка, говядина, куриное филе, су-вид технология, блюда быстрого приготовления.

Благодарности: авторы выражают признательность Ермакову Сергею Анатольевичу за помощь при проведении исследований.

Для цитирования: Демина Е. Н., Симоненкова А. П., Соловьева А. О. Способ сохранения качества мясного сырья при приготовлении концентратов обеденных блюд быстрого приготовления // Ползуновский вестник. 2024. № 2, С. 66–72. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.008. EDN: <https://elibrary.ru/DAIQNX>.

Original article

METHOD OF PRESERVING QUALITY OF MEAT RAW MATERIALS AT PREPARATION OF CONCENTRATES OF LUNCH DISHES QUICK COOKING

Ekaterina N. Demina¹, Anna P. Simonenkova²,
Anna O. Solovyova³

^{1,2} Orel State University named after I.S. Turgenev

³ Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin

¹ deminakate1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2441-1907>

² simonenkova1@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8780-4949>

³ annasolo57@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0008-8636-1283>

Abstract. Freeze-drying in the last few years has been recognized as a promising direction in the processing of meat raw materials, which allows to preserve the quality of the product. Despite the obvious advantages of this method, freeze drying also has disadvantages - the duration of the technological cycle, an excessively dense (rigid) structure, a decrease in the presentation of finished products (darkening), careful selection of raw materials for drying. The authors propose to correct these shortcomings by applying pre-processing of meat raw materials using a special technology. Chicken fillet and beef of the 1st category were used as objects of research. The obtained results were evaluated according to organoleptic, physico-chemical and functional-technological indicators according to generally accepted methods. As a result, a technological scheme for the preparation of meat raw materials has been developed, which provides for the use of pretreatment using a special technology, including grinding meat (cutting across muscle fibers) into pieces from 10 to 15 mm in size, thermal treatment in vacuum conditions for 1.5-2 hours for chicken breast and beef, respectively, is frozen at -20 °C for 1 hour. Freeze-drying was carried out in a freeze-dryer under conditions of deep discharge at a temperature of -16 °C for 16-18 hours, followed by drying at a temperature of 45 °C for 4-6 hours. The proposed technological solutions will reduce production costs by eliminating the pre-salting of raw materials (proposed to improve the quality of freeze-dried meat), reduce the material consumption and energy consumption of the process, and obtain products with good organoleptic characteristics, having high technological potential, which can be used as the main raw material when composing recipes for fast-food lunch dishes.

Acknowledgements: the authors express their gratitude to Sergey A. Ermakov for his assistance in conducting research.

For citation: Demina, E.N., Simonenkova, A.P., Solovyova, A.O. (2024). Method of preserving quality of meat raw materials at preparation of concentrates of lunch dishes quick cooking. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 66-72. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.02.008. EDN: <https://elibrary.ru/DAIQNX>.

ВВЕДЕНИЕ

Здоровое питание сегодня – общемировой тренд. С этих позиций важным представляется не только произвести продукцию, но и сохранить ее пищевую ценность до момента употребления в пищу. Поэтому поиск перспективных способов, позволяющих обеспечить сохранность продуктов питания, – важная задача, стоящая перед пищевой промышленностью. Отчасти решить эту проблему помогут пищевые концентраты. По сравнению с традиционными продуктами питания они удобны и просты в приготовлении, содержат минимальное количество влаги (от 4 до 12 %) и способны длительно храниться, не требуя специальных температурно-влажностных условий.

В основном это смеси различных компонентов (крупы, мясо, жир, вкусовые добавки), подвергнутые предварительной кулинарной обработке, а при необходимости и сушке [1, 2]. Несмотря на общую привлекательность пищевых концентратов, 58,6 % россиян относятся к ним отрицательно, сомневаясь в полезности и натуральности состава данных продуктов и полагая, что пищевые концентраты способны нанести вред здоровью [3]. Отчасти «опасения» потребителей можно считать оправданными, в процессе длительной сушки при высоких температурах пищевая ценность получаемых пищевых концентратов снижается.

В последние несколько лет интерес ученых и производителей направлен на сублимационное консервирование как способ тех-

нологического воздействия, при котором максимально сохраняются первоначальные свойства и пищевая ценность продукта. Сублимационная сушка представляет собой процесс обезвоживания продукта путем испарения влаги из твердого состояния, минуя жидкую фазу. При этом развитие микробиологических процессов исключено, молекулярная структура материала практически не изменяется, в результате чего первоначальные свойства сырья быстро восстанавливаются при обводнении [4]. Ассортимент сублимированных продуктов достаточно большой, включающий фрукты, овощи, молочные продукты, в последнее время пополнившийся и мясными продуктами. Разработаны технологии получения сублимированных куриных кубиков, мясных гранул, национальных мясных продуктов «Борсо», Бурдуун» и др. Интерес к сушке мясных продуктов методом сублимирования объясняется тем, что готовые продукты обладают высокими вкусовыми качествами, сохраняют свою пищевую ценность, имеют малый вес, быстро восстанавливаются и способны длительно храниться в герметичной упаковке при относительной влажности воздуха не более 75 % до 12 месяцев [5, 6, 7].

Однако, несмотря на преимущества этого способа консервирования, сублимационная сушка – процесс длительный (до 24 часов), требующий дорогостоящего энергоемкого оборудования. Кроме того, как отмечает ряд исследователей, мясо сублимационной сушки, несмотря на общую высокую оценку его качества, имеет несколько повышенную жесткость, что является результатом изменений белковых веществ мышечной ткани [5]. Однако этот недостаток можно исправить, например, используя для сублимационной сушки мяса молодых животных и птиц, в котором невелико содержание жира, и соединительная ткань обладает меньшей механической прочностью [8]. Измельчение, посолка мясного сырья, варка соленого мяса, предварительная обработка раствором ферментного препарата также способствует получению продуктов сублимационной сушки высокого качества, но при этом продукты, полученные данными способами, имеют специфические органолептические характеристики, требуют инактивации фермента при приготовлении пищевых концентратов обеденных и не подходят для частого употребления [6, 7, 9].

Перспективным способом предварительной подготовки мяса перед сушкой можно считать технологию су-вид. Продукт невозможно пересушить, клеточные мембраны не разрушаются, мясо получается сочным,

вакуумная упаковка сохраняет пищевую ценность. Зародившись во Франции в начале 70-х годов XX века, технология су-вид долгое время в России не была популярна из-за дороговизны оборудования, зависимости технологии от соблюдения температурных режимов, прямо влияющих на качество готового продукта [10].

Предварительно приняв гипотезу о том, что совместив технологии су-вид и сублимационную сушку можно, во-первых, не вести тщательную сортировку сырья, применять для сушки мясо даже с повышенным содержанием соединительной ткани, сократить общую продолжительность процесса сушки, снизить затраты на производство; во-вторых, сохранить пищевую ценность и получить продукт высокого качества, цель настоящего исследования заключалась в разработке технологии подготовки мясных компонентов для концентратов обеденных блюд быстрого приготовления путем применения технологии су-вид.

МЕТОДЫ

В качестве объектов исследования были выбраны грудка цыплят-бройлеров по ГОСТ 31962-2013 «Мясо кур (тушки кур, цыплят, цыплят-бройлеров и их части)» и говядина 1 категории по ГОСТ 33818-2016 «Мясо. Говядина высококачественная. Технические условия», органолептические характеристики которых приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Органолептические свойства мясного сырья

Table 1 - Organoleptic properties of meat raw materials

Показатели	Говядина 1 категории	Грудка куриная
Внешний вид и цвет поверхности	Корочка подсыхания бледно-красная, жир мягкий	Мышечная ткань бледно-розового оттенка
Мышцы на разрезе	Светло-красные	Бледно-розовые
Консистенция	На разрезе мясо говядины плотное, упругое. Образующаяся при надавливании пальцем ямка быстро выравнивается	Соответствует данному виду мяса
Запах	Специфический, свойственный мясу говядины	Слабовыраженный, характерный для свежего мяса кур
Состояние жира	Бледно-розовый цвет	Бледно-желтый цвет

СПОСОБ СОХРАНЕНИЯ КАЧЕСТВА МЯСНОГО СЫРЬЯ ПРИ ПРИГОТОВЛЕНИИ КОНЦЕНТРАТОВ ОБЕДЕННЫХ БЛЮД БЫСТРОГО ПРИГОТОВЛЕНИЯ

Подготовка к сушке включала измельчение мяса (нарезание поперек мышечных волокон) на кусочки размерами от 10 до 15 мм, термическую обработку в условиях вакуума в течение 1,5–2-х часов для куриной грудки и говядины соответственно, замораживание при температуре $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 1 часа. Температуру устанавливали с учетом вида, веса, толщины и формы продукта. В среднем внутренняя температура составляла для говядины – $60\text{--}65\text{ }^{\circ}\text{C}$, куриного филе – $55\text{--}60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Сублимацию проводили при температуре $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 16–18 часов с последующим досушиванием при температуре $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 4–6 часов в разработанной Ермаковым С.А. вакуумной установке, которая представляет лиофилизатор, предназначенный для сублимационной сушки пищевых продуктов в условиях глубокого разряжения, что позволяет снизить затраты на производство за счет уменьшения материалоемкости и энергозатратности процесса [11]. Окончание процесса сушки определяли по содержанию влаги.

В качестве контрольных образцов выработывали сублимированные продукты – говядину 1 категории и куриное филе без предварительной обработки по су-вид технологии.

Полученные сублимированные мясные продукты оценивали по органолептическим и физико-химическим показателям по общепринятым методикам согласно ГОСТ 32738-2014, ГОСТ 32739-2014, ГОСТ 31467-2012, ГОСТ 7269-2015. Микроструктурные исследования проводили на микроскопе «Микромед 5», совмещенном с ПК (увеличение $\times 10$) с использованием программы Digital Viewer. Определение качественных характеристик полученных образцов сублимационного мяса проводили после их восстановления при температуре воды $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ и гидромодуле 1:5. Готовые концентраты обеденных блюд оценивали в соответствии с ГОСТ 50847-96.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Образцы мяса, предварительно обработанные по су-вид технологии, имели более светлый по сравнению с контрольными образцами цвет и более нежную консистенцию. Деформации кусочков мяса при термической обработке не произошло (рисунок 1).

Вкусовые характеристики мяса, предварительно обработанного по су-вид технологии, также оказались выше образцов, не подвергавшихся предварительной обработке. Все дегустаторы отметили более нежную текстуру мяса, предварительно обработанного по су-вид технологии.



Рисунок 1 – Внешний вид мясного сырья и готового продукта

Figure 1 - Appearance of meat raw materials and finished product

Образцы куриного филе в сумме набрали 19,2 балла, говядины – 18,9 баллов, что превысило сумму баллов, набранную контрольными образцами на 0,5–0,4 балла соответственно (рисунок 2).

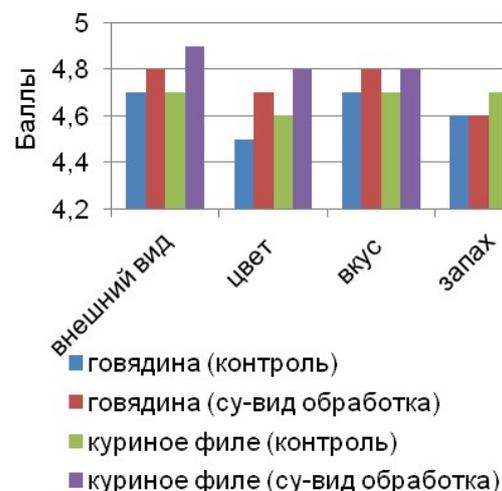


Рисунок 2 – Балльная оценка образцов

Figure 2 - Scoring of samples

Предварительная обработка мясного сырья по су-вид технологии способствовала и более интенсивному снижению массовой доли влаги по сравнению с сублимированной сушкой без предварительной обработки на 0,4 % в курином филе и на 0,2 % в говядине (рисунок 3).

Одним из качественных показателей мяса является его водосвязывающая способность, от которой зависят такие его свойства, как сочность, нежность, потери при тепловой обработке, товарный вид [12].

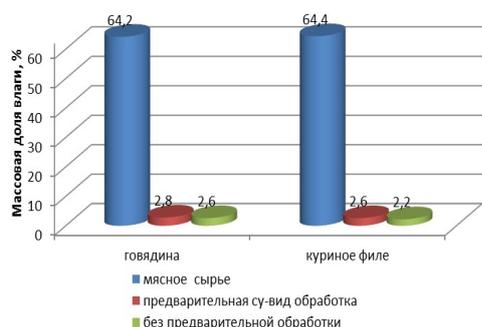


Рисунок 3 – Содержание влаги в образцах

Figure 3 - Moisture content in samples

Водосвязывающая способность образцов мяса после сушки снизилась по сравнению с исходными значениями на 0,7–6,2 % в образцах говядины и на 0,5–4,3 % в образцах куриного филе. Такое снижение можно объяснить регидратацией мяса в результате денатурации белков в процессе предварительной термической обработки. При этом благодаря применению предварительной су-вид обработки водосвязывающая способность этих образцов мяса была на 5,5 % выше для говядины и на 3,8 % – для куриного филе по сравнению с идентичным сублимированным мясом, которое не подвергалось предварительной обработке (рисунок 4).

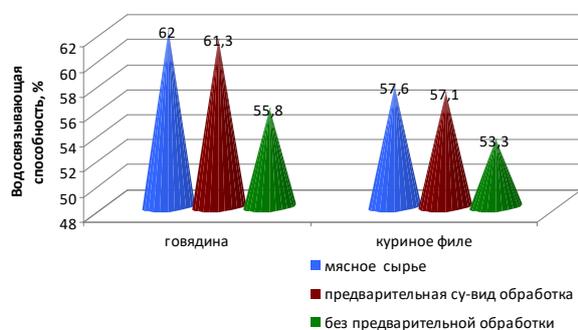


Рисунок 4 – Водосвязывающая способность образцов

Figure 4 - Water binding capacity of samples

С водосвязывающей способностью мяса и выходом готового продукта связана pH. Чем выше разница между уровнем pH и изоэлектрической точкой белка, тем выше водосвязывающая способность белков мяса [13]. Данная зависимость подтвердилась экспериментально (рисунок 5).

Полученные результаты показали более высокие технологические характеристики мяса сублимационной сушки, полученного с предварительной су-вид обработкой.

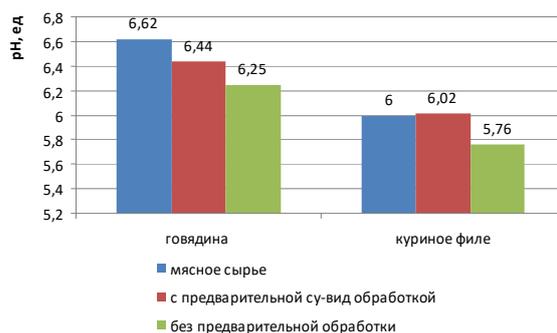


Рисунок 5 – pH образцы

Figure 5 - pH of samples

Результаты анализа микроструктуры подтвердили данные органолептической оценки качества образцов сублимированного мяса и свидетельствовали о том, что в результате предварительной су-вид обработки произошли незначительные структурные изменения мышечной ткани, сохранилась общая ее целостность, мышечные волокна слегка укоротились и уплотнились. Такие изменения, скорее всего, вызваны, частичной денатурацией белков в процессе предварительной термической обработки (рисунок 6).

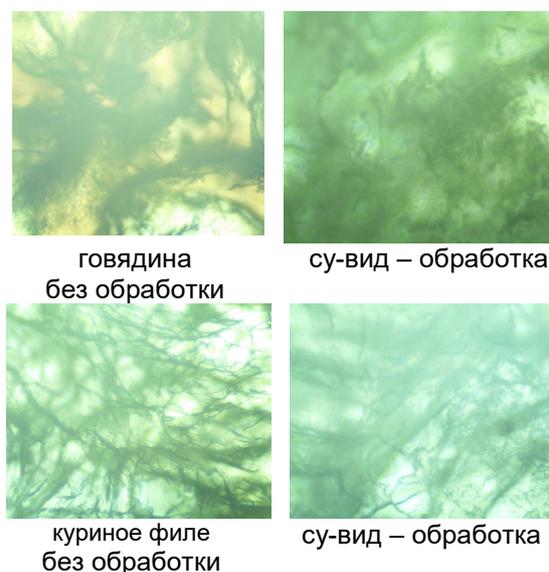


Рисунок 6 – Микроструктура мясных компонентов сублимационной сушки

Figure 6 – Microstructure of freeze-dried meat components

Образцы говядины и куриного филе сублимационной сушки с предварительной обработкой по су-вид технологии использовали для составления концентратов обеденных блюд. При составлении рецептур учитывали требования ГОСТ 50847-96. В качестве основного сырья использовали картофельное

СПОСОБ СОХРАНЕНИЯ КАЧЕСТВА МЯСНОГО СЫРЬЯ ПРИ ПРИГОТОВЛЕНИИ КОНЦЕНТРАТОВ ОБЕДЕННЫХ БЛЮД БЫСТРОГО ПРИГОТОВЛЕНИЯ

пюре быстрого приготовления, гречневые хлопья и рис отварной сублимационной сушилки. Дополнительно в рецептуру включали сливочное масло, лук репчатый и зелень сублимационной сушилки. Технология производства концентратов включала приемку и под-

готовку сырья, дозирование по массе и перемешивание всех компонентов, расфасовку и вакуумную упаковку. Качественные характеристики полученных образцов концентратов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристика пищевых концентратов обеденных блюд быстрого приготовления

Table 2 – Characteristics of food concentrates of fast-food lunch dishes

Наименование показателя	Гречневая каша с говядиной	Картофельное пюре с куриным филе	Рис с куриным филе
Внешний вид и консистенция	Свойственные одноименным вторым обеденным блюдам, приготовленным кулинарным способом, в виде частиц различной формы и размера, с умеренным количеством мясных кусочков. С вкраплениями сушеной зелени		
Цвет	Коричневый цвет, с вкраплениями мяса, зелени	Светло-желтый, с вкраплениями зелени	Белый, с бежевым оттенком куриного мяса
Вкус и запах	Свойственные одноименным блюдам, приготовленным кулинарным способом, с соответствующим вкусом и запахом говядины, сливочного масла, зелени	Свойственные одноименным блюдам, приготовленным кулинарным способом, с соответствующим вкусом и запахом курицы, сливочного масла, зелени	Свойственные одноименным блюдам, приготовленным кулинарным способом, с соответствующим вкусом и запахом курицы, сливочного масла и лука
Массовая доля влаги, %	9,0	7,0	6,5

ВЫВОДЫ

Применение предварительной обработки мясного сырья по су-вид технологии с последующей сублимационной сушкой позволяет получить мясные образцы высокого качества, характеризующиеся после восстановления хорошими органолептическими свойствами и стандартными физико-химическими характеристиками.

Предлагаемые технологические решения позволят сократить затраты на производство за счет исключения предварительного посола сырья (предлагаемого в большинстве случаев для повышения качества сублимированного мяса), уменьшения длительности процесса сушки до 16–18 часов, получить продукты, которые могут быть использованы в качестве основного сырья при составлении рецептур обеденных блюд быстрого приготовления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трушанова Е.М. Разработка технологии пищевых концентратов обеденных блюд, обогащенных микронутриентами : автореф. дис. ... на соискание канд. техн. наук. М., 2006. 24 с.
2. Стащенко Е.С. Научная разработка технологии производства картофельного пюре повышенной пищевой и биологической ценности // Вестник КрасГАУ. 2018. № 5. С. 214–221.
3. Уложина М.Ю., Усень Ю.С. Потребительские предпочтения пищевых концентратов функционального назначения // Пищевая промышленность

: наука и технологии. 2020. Т. 14. № 1 (51) С. 93–100. doi. org/10.47612/2073-4794-2021-14-1(51)-93-100.

4. Дондокова С.А., Битуева Э.Б., Антипов А.В. Использование сублимационной сушки в производстве мясных продуктов // Научное обозрение. Технические науки. 2016. № 4. С. 37–48.

5. Иванченкова Т.А. Разработка технологии продукта из ферментированного мяса птицы, обезвоженного путем вакуумного испарения и сублимационной сушки в едином цикле : автореф. на соискание канд. техн. наук. М., 2013. 24 с.

6. Способ получения национального мясного продукта «Борсо»: пат. 2395972 Рос. Федерация № 2009117895/13, заявл. 12.05.2009; опубл. 10.08.2010, Бюл. № 22. 6 с.

7. Способ получения национального мясного продукта «Бурдуун»: пат. 2399275 Рос. Федерация № 2009117966/13, заявл. 12.05.2009; опубл. 20.09.2010, Бюл. № 26. 7 с.

8. Семенов Г.В., Краснова И.С. Сублимационная сушка пищевых продуктов. Москва : ДеЛи плюс, 2018. 293 с.

9. Способ вакуумного обезвоживания белого мяса птицы в условиях сочетания процессов вакуумного испарения и сублимации в едином цикле: пат. 2490914. Рос. Федерация № 2011153247/13; опубл. 27.08.2013, Бюл. № 24. 8 с.

10. Фофанова Т.С. Технология су-вид – некоторые аспекты качества и микробиологической безопасности // Теория и практика переработки мяса. 2018. 3(1). С. 59–68. DOI: 10.21323/2414-438X-2018-3-1-59-68.

11. Способ вакуумной сублимационной сушки с конвективным подводом тепловой энергии и установка сублимационной сушки : пат. 2416918, Рос.

Федерация № 2010100448/13, заявл. 11.01.2010; опубл. 27.04.2011, Бюл. № 12. 7 с.

12. Влагосвязывающая способность мяса / Жеребилов Н.И. [и др.] // Вестник курской государственной сельскохозяйственной академии. 2011. № 6. С. 60–61.

13. Демина Е.Н., Дмитренко О.В. Перспектива применения сублимационной сушки при производстве мясных компонентов для блюд быстрого приготовления // Пищевая инженерия, экспертиза и безопасность продукции АПК: инновационные решения и перспективы развития: сборник научных трудов IV национальной научно-практической конференции. Москва : ФГБОУ ВО МГАВМИБ – МВА имени К.И. Скрябина, 2023. С. 49–55.

Информация об авторах

Е. Н. Демина – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продуктов питания и организации ресторанного дела Орловского государственного университета им. И.С. Тургенева.

А. П. Симоненкова – кандидат технических наук, зав. кафедрой технологии продуктов питания и организации ресторанного дела Орловского государственного университета им. И.С. Тургенева.

А. О. Соловьева – кандидат технических наук, доцент кафедры «Продукты питания животного происхождения» Орловского государственного аграрного университета им. Н.В. Парахина.

REFERENCES

1. Trushanova, E.M. (2006). Development of technology of food concentrates of lunch dishes enriched with micronutrients. Extended abstract of candidate's thesis. Moscow. (In Russ.).

2. Stashenko, E.S. (2018). Scientific development of technology for the production of mashed potatoes of increased nutritional and biological value. *Bulletin of KrasGAU*, (5), 214-221. (In Russ.).

3. Pokhinova, M.Yu. & Usenya, Yu.S. (2020). Consumer preferences of functional food concentrates. *Food industry : science and technology*, (1(51)), 93-100. (In Russ.). doi.org/10.47612/2073-4794-2021-14-1 (51)-93-100.

4. Dondokova, S.A., Bitueva, E.B. & Antipov, A.V. (2016). The use of freeze-drying in the production of meat products. *Scientific review. Technical sciences.*, (4), 37-48. (In Russ.).

5. Ivanchenkova, T.A. (2013). Development of the technology of a product from fermented poultry meat prepared by vacuum evaporation and freeze-drying in a

single cycle. Extended abstract of candidate's thesis. Moscow. (In Russ.).

6. Bitueva, E.B., Dondokova, S.A. & Antipov, A.V. (2010). The method of obtaining the national meat product "Borso". *Pat. 2395972 Russian Federation, published on 10.08.2010*. Bull. No. 22. (In Russ.).

7. Bitueva, E.B., Dondokova, S.A. & Antipov, A.V. (2010). The method of obtaining the national meat product "Burduun". *Pat. 2399275 Russian Federation, published on 20.09.2010*. Bull. No. 26. (In Russ.).

8. Semenov, G.V. & Krasnova, I.S. (2018). Freeze-drying of food products. Moscow: Delhi Plus. (In Russ.).

9. Titov, E.I., Semenov, G.V. & Ivanchenkova, T.A. (2013). Method of vacuum dehydration of white poultry meat under conditions of combination of vacuum evaporation and sublimation processes in a single cycle. *Pat. 2490914 Russian Federation, published on 27.08.2013*. Bull. No. 24. (In Russ.).

10. Fofanova, T.S. (2018). Su-vid technology - some aspects of quality and microbiological safety *Theory and practice of meat processing*, (3(1), 59-68. DOI: 10.21323/2414-438X-2018-3-1-59-68. (In Russ.).

11. Ermakov, S.A. (2011). The method of vacuum freeze drying with convective heat supply and the installation of freeze drying. *Pat. 2416918 Russian Federation, published on 27.04.2011*. Bull. No. 12. (In Russ.).

12. Zherebilov, N.I. [et al.]. (2021). Moisture binding capacity of meat. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*, (6), 60-61. (In Russ.).

13. Demina, E.N. & Dmitrenok, O.V. The prospect of using freeze-drying in the production of meat components for fast-cooking dishes. *Food engineering, expertise and safety of agricultural products: innovative solutions and development prospects: collection of scientific papers of the IV National scientific and Practical conference*. Moscow : K.I. Scriabin Moscow State Pedagogical University.

Information about the authors

E.N. Demina - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of food technology and organization of restaurant business of the Orel State University named after I.S. Turgenev.

A.P. Simonenkova - candidate of technical Sciences, head. Department of food technology and organization of restaurant business of the Orel State University named after I.S. Turgenev.

A.O. Solovyova - candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department "Food products of animal origin" of the Orel State Agrarian University named after N.In. Parakhina.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 24 ноября 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 06 мая 2024.

The article was received by the editorial board on 24 Nov 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 06 May 2024.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 637.138

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.009

 EDN: HPYXGO

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПИЩЕВЫХ ИНГРЕДИЕНТОВ В СОСТАВЕ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ УПОТРЕБЛЕНИЯ ПРИ МЕТАБОЛИЧЕСКОМ СИНДРОМЕ

Алла Львовна Новокшанова ¹, Елена Михайловна Щетинина ²,
Анастасия Сергеевна Билялова ³

^{1, 2, 3} Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «ФИЦ питания и биотехнологии», г. Москва, Россия

¹ novokshanova@ion.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5049-1472>

² schetinina2014@bk.ru, <http://orcid.org/0000-0002-3463-9502>

³ asbilyalova@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-1162-7015>

Аннотация. Одна из центральных медико-социальных проблем населения Российской Федерации – это рост числа людей с метаболическим синдромом. Ежегодный рост заболеваемости требует совершенствования подходов в диагностике, профилактике и особенно не медикаментозном лечении данного патологического состояния. Одним из вариантов может служить потребление специализированных пищевых продуктов на молочной основе. Современный рынок молочных продуктов диктует тенденции развития вектора продуктов специализированного назначения. Сегодня все чаще можно встретить молочные продукты, ориентированные на питание спортсменов или обогащенные теми или иными витаминами. Для категории лиц с метаболическим синдромом особый интерес представляют обезжиренные молочные продукты.

В статье описаны функциональные пищевые ингредиенты, которые могут представлять интерес в питании людей с метаболическим синдромом. Приведены результаты эксперимента по внесению данных ингредиентов в молочный продукт и оценке его органолептических характеристик. Подробно описано, какое влияние оказал каждый функциональный пищевой ингредиент на показатели внешнего вида, вкуса и запаха, цвета и консистенции продукта. Даны рекомендации о возможности использования функциональных пищевых ингредиентов при производстве молочных напитков для питания людей с метаболическим синдромом.

Ключевые слова: ожирение, метаболический синдром, обезжиренное молоко, функциональные пищевые ингредиенты, органолептические показатели.

Для цитирования: Новокшанова А. Л., Щетинина Е. М., Билялова А. С. Исследование возможности применения функциональных пищевых ингредиентов в составе молочных продуктов для употребления при метаболическом синдроме // Ползуновский вестник. 2024. № 2, С. 73–78. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.009. EDN: <https://elibrary.ru/HPYXGO>.

Original article

STUDY OF THE POSSIBILITY OF USING FUNCTIONAL FOOD INGREDIENTS IN DAIRY PRODUCTS FOR CONSUMPTION IN METABOLIC SYNDROME

Alla L. Novokshanova ¹, Elena M. Shchetinina ²,
Anastasia S. Bilyalova ³

^{1, 2, 3} Federal State Budgetary Institution of Science "Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology", Moscow, Russia

¹ novokshanova@ion.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5049-1472>

² schetinina2014@bk.ru, <http://orcid.org/0000-0002-3463-9502>

³ asbilyalova@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-1162-7015>

Abstract. *One of the central medical and social problems of the population of the Russian Federation is the growing number of people with metabolic syndrome. The annual increase in incidence requires improved approaches to diagnosis, prevention, and especially non-drug treatment of this pathological condition. One option may be the consumption of specialized dairy-based foods. The modern dairy products market dictates the development trends of the vector of specialized products. Today, you can increasingly find dairy products aimed at feeding athletes or enriched with certain vitamins. For the category of people with metabolic syndrome, low-fat dairy products are of particular interest.*

The article describes functional food ingredients that may be of interest in the nutrition of people with metabolic syndrome. The results of an experiment on adding these ingredients to a dairy product and assessing its organoleptic characteristics are presented. The impact each functional food ingredient had on the appearance, taste and smell, color and consistency of the product is described in detail. Recommendations are given on the possibility of using functional food ingredients in the production of dairy drinks for feeding people with metabolic syndrome.

Keywords: *obesity, metabolic syndrome, skim milk, functional food ingredients, organoleptic characteristics.*

For citation: Novokshanova, A.L., Shchetinina, E.M. & Bilyalova, A.S. (2024). Study of the possibility of using functional food ingredients in dairy products for use in metabolic syndrome. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 73-78. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.02.009. EDN: <https://elibrary.ru/NPYXGO>.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из центральных медико-социальных проблем населения Российской Федерации в настоящее время является рост числа людей с метаболическим синдромом. Метаболическим синдромом называется полиэтиологическое патологическое состояние, провоцирующее развитие многих заболеваний, являющихся основной причиной инвалидизации и высокой смертности населения на сегодняшний день. За последние годы учеными опубликованы тысячи статей, касающихся различных аспектов проявления и возможности решения проблем метаболического синдрома. Проблемы патогенеза, диагностики и лечения метаболического синдрома активно дискутируются и многими учеными ведутся активные поиски вариантов ре-

шения данной проблемы. Ежегодный рост заболеваемости требует совершенствования подходов в диагностике, профилактике и особенно немедикаментозном лечении данного патологического состояния. Одним из перспективных решений могут стать специализированные пищевые продукты на молочной основе.

Так как сегодня не существует лекарственного препарата, эффективного в лечении метаболического синдрома, то основной медико-биологической рекомендацией служит коррекция образа жизни больного в сторону повышения его физической активности и снижения калорийности рациона. Этих рекомендаций необходимо придерживаться постоянно, в связи с чем немедикаментозные меры имеют приоритетное значение для

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПИЩЕВЫХ ИНГРЕДИЕНТОВ В СОСТАВЕ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ УПОТРЕБЛЕНИЯ ПРИ МЕТАБОЛИЧЕСКОМ СИНДРОМЕ

улучшения качества жизни пациентов с метаболическим синдромом.

Современный рынок молочных продуктов должен соответствовать общему вектору пищевой промышленности – развитию производства продуктов специализированного назначения. Хорошим примером могут служить продукты, ориентированные на питание спортсменов, важнейшими ингредиентами в которых является молочное сырье [1]. Подобно продуктам для питания спортсменов, научный и практический интерес представляет разработка молочных продуктов для категории лиц с метаболическим синдромом. Это предположение опирается на многочисленные исследования в области клинической диетологии. Например, по данным метаанализа E. Amirani и соавторов [2], показано, что потребление сывороточных белков молока способствует значительному снижению уровня общего холестерина и липопротеинов низкой плотности. S.M. Ulven и соавторы [3] выявили значительный противовоспалительный эффект потребления молока или молочных продуктов как у здоровых, так и у лиц с метаболическими нарушениями. По данным R.C. Zapata и коллег [4], показано, что высокобелковая диета, содержащая молочную сыворотку, способствует снижению массы тела, а лактоферрин вызывает устойчивую потерю массы тела и жира, снижая уровень лептина и инсулина в плазме крови. Данные исследования подтверждают актуальность создания специализированных продуктов на молочной основе с целью их применения в диетотерапии у больных с метаболическим синдромом.

После медико-биологического обоснования в работе поставлена цель – исследовать органолептическую совместимость ингредиентов, необходимых для введения в молочный напиток, предназначенный для диетотерапии больных с метаболическим синдромом.

МЕТОДЫ

Сухое обезжиренное молоко восстанавливали при температуре (40 ± 2) °С, затем образцы пастеризовали при (95 ± 2) °С. Впоследствии пробы охлаждали и хранили при температуре комнатного холодильника (4 ± 2) °С. Данные образцы использовали как контрольные пробы. В опытные образцы до пастеризации вносили сухие функциональные пищевые ингредиенты.

При исследовании растворимости функциональных пищевых ингредиентов в восстановленном обезжиренном молоке применен

визуальный метод. О полной растворимости ингредиентов судили по исчезновению их кристаллов или осадка или по отсутствию каких-либо изменений внешнего вида и консистенции модельных систем.

Органолептические показатели образцов восстановленного обезжиренного молока с функциональными пищевыми ингредиентами анализировали балльным методом [5]. Для определения массовой доли белка в образцах использовали метод Кьельдаля [6], для определения массовой доли жира и сухих веществ – инструментальный экспресс-метод [7].

Все эксперименты были проведены на базе лаборатории пищевых биотехнологий и специализированных продуктов ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для проведения исследований в качестве основы было взято сухое обезжиренное молоко, по физико-химическим показателям, соответствующее требованиям стандарта [8]. После восстановления сухого обезжиренного молока массовая доля белка в нем составила $(5,1\pm 0,09)$ %, жира – $(0,35\pm 0,05)$ %, лактозы – $(8,1\pm 0,1)$ %.

В ходе предварительно выполненного медико-биологического обоснования для данного этапа работы были выбраны три функциональных пищевых ингредиента, рекомендованные для введения в состав напитка: L-карнитин, кофермент Q и хром. Ингредиенты соответствовали требованиям, предъявляемым к данному сырью при использовании в специализированной пищевой продукции [9, 10].

Карнитин обладает свойствами витаминopodobного вещества [6]. В недавно опубликованных работах показан дозозависимый эффект L-карнитина для контроля гликемии у пациентов с сахарным диабетом второго типа [11, 12].

Кофермент Q необходим для функционирования тканей с высоким уровнем энергетического обмена.

Относительно добавок хрома имеются отдельные доказательства эффективности в улучшении показателей гликемии при метаболическом синдроме и сахарном диабете второго типа, вместе с тем остается открытым вопрос эффективности и безопасности [13].

При расчете количества вносимых функциональных пищевых ингредиентов учитывали, что минимальное их количество должно быть ограничено порогом в 15 % от адекватного уровня потребления, а максимальное

содержание – не должно превышать верхний допустимый уровень потребления [5]. Критерием оценки служила степень наблюдаемых органолептических изменений после внесения ингредиентов.

В таблице 1 представлены контрольные значения для выбранных функциональных пищевых ингредиентов, рекомендуемые для введения в состав разрабатываемого продукта, по данным нормативной документации [5].

Таблица 1 – Рекомендуемые уровни потребления функциональных пищевых ингредиентов [5]

Table 1 - Recommended consumption levels of functional food ingredients [5]

Пищевые и биологически активные компоненты пищи	Адекватный уровень потребления в сутки, г	Верхний допустимый уровень потребления в сутки, г
L-карнитин	0,30	0,90
Кофермент Q	0,03	0,10
Пиколинат хрома	0,05	0,25

Основными показателями органолептического анализа являлась оценка внешнего вида, вкуса и запаха, цвета и консистенции. Органолептические показатели модельных образцов восстановленного молока представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Органолептические показатели образцов восстановленного молока без добавленных ингредиентов

Table 2 - Organoleptic characteristics of samples of reconstituted milk without added ingredients

Наименование показателей	Характеристика
Внешний вид	Подвижная непрозрачная жидкость сливочно-кремового, желтоватого цвета, равномерного по всему объему
Консистенция	Однородная, питьевая
Вкус и запах	Чистые, кисломолочные, без посторонних привкусов и запахов
Цвет	Сливочно-кремовый, желтоватый, однородный по всему объему

Помимо органолептических показателей нового продукта важным технологическим параметром, особенно в случае производства молочных продуктов, является растворимость ингредиентов в основном сырье. Поскольку предполагаемые функциональные пищевые ингредиенты находились в сухом виде, то при общей органолептической экспертизе учитывали фактор их растворимости в восстановленном обезжиренном молоке.

Доля вносимого функционального пищевого ингредиента L-карнитина варьировалась от 10 (0,3 г) до 300 % (0,9 г) с шагом в 5 %. Независимо от дозы вносимого ингредиента изменений внешнего вида не отмечено. По органолептическим характеристикам напиток обладал молочным вкусом и запахом, однородная жидкость без хлопьев и осадка, белого цвета. Кроме того, функциональный пищевой ингредиент проявил отличную растворимость, что важно при промышленном производстве. Таким образом, установлено, что внесение L-карнитина не влияет на органолептические характеристики продукта.

Доля вносимого функционального пищевого ингредиента кофермента Q варьировалась от 10 (0,03г) до 300 % (0,09 г) с шагом в 5 %. По

органолептическим показателям вкуса и запаха никаких изменений при применении минимальной и максимальной дозировок не отмечено. Однако данный функциональный пищевой ингредиент даже при минимальных дозировках показал нежелательные отклонения в консистенции продукта за счет плохих показателей растворимости. Производитель отмечал, что кофермент Q практически не растворим в воде, но при этом растворим в ряде органических соединений. Информации о растворимости в молочном сырье не было приведено.

После проведения исследований по возможности создания вариантов, при которых кофермент Q был полностью растворим в созданных модельных системах из восстановленного обезжиренного молока, положительные результаты не были достигнуты. Таким образом, можно сделать вывод о невозможности использования данного функционального пищевого ингредиента при производстве обезжиренных молочных продуктов.

Доля вносимого функционального пищевого ингредиента пиколината хрома варьировалась от 10 (0,05 г) до 300 % (1,5 г) с шагом в 5 %. По органолептическим показателям

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПИЩЕВЫХ ИНГРЕДИЕНТОВ В СОСТАВЕ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ УПОТРЕБЛЕНИЯ ПРИ МЕТАБОЛИЧЕСКОМ СИНДРОМЕ

вкуса и запаха никаких изменений при применении минимальной и максимальной дозировок не отмечено. Пиколинат хрома также показал отрицательные результаты по растворимости в восстановленном обезжиренном молоке. Кристаллы соли седиментировались в виде небольшого количества осадка. Кроме того, данный функциональный пищевой ингредиент придавал молоку явно розовую окраску даже в случае применения минимальных дозировок. На основании этих наблюдений сделано заключение, что пиколинат Cr не подходит для дальнейших исследований в качестве ингредиента при формировании рецептуры и технологии обезжиренного молочного напитка.

Положительно проявившие себя образцы, а именно с использованием L-карнитина, были заложены на хранение при (4 ± 2) °C на 14 суток. При хранении опытные образцы по своим органолептическим и физико-химическим показателям соответствовали контрольным, что говорит о положительном результате и возможности проведения дальнейших исследований в данном направлении.

ВЫВОДЫ

Сегодня актуально стоит вопрос о расширении ассортимента специализированной продукции, которая будет иметь лечебно-профилактический профиль. С учетом роста числа граждан с метаболическим синдромом и уровня ежедневного употребления молочных продуктов в Российской Федерации создание специализированных молочных продуктов является актуальной. По результатам проведенных исследований доказано, что функциональный пищевой ингредиент L-карнитин, играющий важную роль в метаболизме человека, может быть использован в составе специализированной молочной продукции в рекомендуемых уровнях потребления, не оказывая негативного влияния на органолептические, физико-химические и технологические характеристики продукта.

Материал подготовлен в рамках государственного задания FGMF-2022-0002.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новокшанова А.Л. Молочные продукты улучшенной пищевой ценности: пути решения / А.Л. Новокшанова // Переработка молока. 2023. № 7 (285). С. 6–8.
2. Amirani E. [et al.]. Effects of whey protein on glycemic control and serum lipoproteins in patients with metabolic syndrome and related conditions: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled clinical trials. *Lipids in health and disease*, 2020, № 19, pp. 1–18. (In English). doi: 10.1186/s12944-020-01384-7.

3. Ulven S.M. [et al.]. Milk and dairy product consumption and inflammatory biomarkers: an updated systematic review of randomized clinical trials. *Advances in Nutrition*, 2019, № 10(2), pp. S239–S250 (In English). doi: 10.1093/advances/nmy072.

4. Zapata R.C. [et al.]. Whey protein components-lactalbumin and lactoferrin-improve energy balance and metabolism. *Scientific reports*, 2017, № 7, pp. 9917 (In English). doi: 10.1038/s41598-017-09781-2.

5. ГОСТ Р ИСО 22935-3-2011. Молоко и молочные продукты. Органолептический анализ. Часть 3. Руководство по оценке соответствия техническим условиям на продукцию для определения органолептических свойств путем подсчета баллов. М. : ФГУП «Стандартинформ», 2012. 8 с.

6. ГОСТ Р 53951-2010 Продукты молочные, молочные составные и молокосодержащие. Определение массовой доли белка методом Кьельдаля М. : ФГУП «Стандартинформ», 2011. 12 с.

7. ГОСТ 32255-2013 Молоко и молочная продукция. Инструментальный экспресс-метод определения физико-химических показателей идентификации с применением инфракрасного анализатора. М. : Стандартинформ, 2014. 14 с.

8. ГОСТ 33629-2015 Консервы молочные. Молоко сухое. Технические условия. М. : ФГУП «Стандартинформ», 2015. 10 с.

9. Технический регламент Таможенного союза 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». Утвержден решением Комиссии Таможенного союза № 880 от 9 декабря 2011 г.

10. Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к продукции (товарам), подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю). Утверждены решением Комиссии Таможенного союза № 299 от 28 мая 2010 г. (с изменениями на 10 ноября 2015 года).

11. Раджаббадиев Р.М. L-карнитин: свойства и перспективы применения в спортивной практике / Р.М. Раджаббадиев, М.М. Коростелева, В.С. Евстратова, Д.Б. Никитюк, Р.А. Ханферьян // Вопросы питания. 2015. Т. 84. № 3. С. 4–12.

12. Wang D.D., Mao Y.Z., He S.M., Yang Y. [et al.]. Quantitative efficacy of L-carnitine supplementation on glycemic control in type 2 diabetes mellitus patients. *Expert Rev. Clin. Pharmacol.* 2021 Jul; 14(7):919–926. doi: 10.1080/17512433.2021.1917381.

13. Maret W. Chromium Supplementation in Human Health, Metabolic Syndrome, and Diabetes. *Metabolic Life Sci.* 2019 Jan 14;19:/books/9783110527872/9783110527872-015/9783110527872-015.xml. doi: 10.1515/9783110527872-015.

Информация об авторах

А. Л. Новокшанова – доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории пищевых биотехнологий и специализированных продуктов ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии».

Е. М. Щетинина – доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории пищевых биотехнологий и специализирован-

ных продуктов ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии».

А. С. Билялова – кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории пищевых биотехнологий и специализированных продуктов ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии».

REFERENCES

1. Novokshanova, A.L. (2023). Dairy products with improved nutritional value: solutions. Milk processing. 7 (285). 6-8. (In Russ.).

2. Amirani, E. [et al.]. (2020). Effects of whey protein on glycemic control and serum lipoproteins in patients with metabolic syndrome and related conditions: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled clinical trials. Lipids in health and disease. (19), 1-18. (In English). doi: 10.1186/s12944-020-01384-7.

3. Ulven, S.M. [et al.]. (2019). Milk and dairy product consumption and inflammatory biomarkers: an updated systematic review of randomized clinical trials. Advances in Nutrition, 10(2), S239-S250 (In English). doi: 10.1093/advances/nmy072.

4. Zapata, R.C. [et al.]. (2017). Whey protein components-lactalbumin and lactoferrin-improve energy balance and metabolism. Scientific reports, (7), 9917. (In English). doi: 10.1038/s41598-017-09781-2.

5. State Standard ISO 22935-3-2011. (2012). Milk and dairy products. Organoleptic analysis. Part 3. Guidelines for assessing compliance with product specifications for determining organoleptic properties by scoring. Moscow, Standartinform Publ., 8 p. (In Russ.).

6. State Standard 53951-2010 (2011). Dairy products, dairy products and milk-containing products. Determination of the mass fraction of protein by the Kjeldahl method. Moscow, Standartinform Publ., 12 p. (In Russ.).

7. State Standard 32255-2013 (2014). Milk and dairy products. Instrumental express method for determining physical and chemical indices of identification using an infrared analyzer. Moscow, Standartinform Publ., 14 p. (In Russ.).

8. GOST 33629-2015 (2015). Canned milk. Powdered milk. Technical conditions. M. : FSUE "Standartinform", 10 p.

9. Tekhnicheskij reglament Tamozhennogo soyuza 021/2011 (2011). O bezopasnosti pishchevoy produktsii. [Technical Regulations of the Customs Union 021/2011 "On Food Safety"]. Approved by the decision of the Commission of the Customs Union. No. 880 dated December 9. (In Russ.).

10. Unified sanitary-epidemiological and hygienic requirements for products (goods) subject to sanitary-epidemiological supervision (control). (2010). Approved by decision of the Customs Union Commission. No. 299 of May 28, (as amended on November 10, 2015). (In Russ.).

11. Radzhabkadiev, R.M. [et al.]. (2015). L-carnitine: properties and perspectives for use in sports practice, Nutrition issues. 84(3), pp. 4-12. (In Russ.).

12. Wang, D.D., Mao, Y.Z., He, SM, Yang, Y. [et al.]. (2021). Quantitative efficacy of L-carnitine supplementation on glycemic control in type 2 diabetes mellitus patients. Expert Rev. Clin. Pharmacol. 14(7):919-926. doi: 10.1080/17512433.2021.1917381.

13. Maret, W. (2019). Chromium Supplementation in Human Health, Metabolic Syndrome, and Diabetes. Met lons Life Sci. Jan 14;19:/books/9783110527872/9783110527872-015/9783110527872-015.xml. doi: 10.1515/9783110527872-015.

Information about the authors

A.L. Novokshanova - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher at the Laboratory of Food Biotechnologies and Specialized Products of the Federal State Budgetary Institution of Science "Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology".

E.M. Shchetinina - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher of the Laboratory of Food Biotechnologies and Specialized Products of the Federal State Budgetary Institution of Education "Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology".

A.S. Bilyalova - Candidate of Technical Sciences, Researcher at the Laboratory of Food Biotechnologies and Specialized Products of the Federal State Budgetary Institution "Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology".

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 23 ноября 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 06 мая 2024.

The article was received by the editorial board on 23 Nov 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 06 May 2024.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.65

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.010



ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА МУССА НА ОСНОВЕ ПЮРЕ ФЕЙХОА И ПАХТЫ

Ростислав Андреевич Журавлев ¹, Елена Георгиевна Дунец ²,
Татьяна Александровна Джум ³, Майя Юрьевна Тамова ⁴

^{1, 2, 3, 4} Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный технологический университет», Краснодар, Россия

¹ irostx@gmail.com, <https://orcid.org/0000-2701-734X>

² dunetsL@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4499-9069>

³ tatalex7@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4025-326X>

⁴ tamova_maya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0710-8279>

Аннотация. Среди населения различных возрастных групп, особенно детей, большой популярностью пользуются сладкие блюда со взбитой структурой, качество которых можно повысить за счет обогащения их эссенциальными нутриентами. Целью исследования является разработка технологии и рецептов комбинированных муссов с использованием продуктов переработки молока и локального плодового сырья. В качестве молочного сырья для сравнения использованы сыворотка и пахта с изучением их пенообразующей способности, связанной с наличием в их составе белков, являющихся стабилизаторами межфазных пенных пленок. Данные продукты характеризуются сбалансированным в благоприятном соотношении для организма человека химическим составом, включающим казеин, лактоальбумин, лактоглобулин, незаменимые жирные кислоты, зольные элементы, витамины. Поэтому их использование в качестве основы в процессе приготовления десертов актуально, отвечает принципам полноценного питания, требованиям безотходной технологии и рационального использования сырья, что положительно отражается на экономических показателях деятельности предприятия. Неотъемлемой частью здорового питания также является регулярное потребление фруктов, овощей и ягод, характеризующихся как незаменимый источник пищевых волокон, органических кислот, витаминов, макро- и микроэлементов, биофлавоноидов. В связи с этим для производства взбитых десертов на молочной основе актуально использование плодово-ягодного сырья, среди которого достаточно новым рецептурным компонентом рассматриваются плоды фейхоа, выращенного на территории Краснодарского края и отличающиеся содержанием большого количества йода, витамина С, катехинов, лейкоантоцианов, пектиновых веществ. Желеобразные структуры продукции можно получить, используя загустители и стабилизаторы пен, разнообразие которых известно кулинарной практике. Особый интерес представляют каррагинаны – полисахариды, полученные из некоторых видов красных водорослей, с учетом их биологических, физико-химических свойств и структуры, использование которых актуально для стабилизации и повышения биологической ценности десертов на молочно-растительной основе. Производство сладких блюд с включением в технологическую схему процесса взбивания, улучшенный состав ингредиентов позволяет разнообразить рацион, повысить вкусовые качества продукции, одновременно снижая ее себестоимость.

Ключевые слова: мусс, пенообразующая способность, пахта, фейхоа, структурообразователь растительного происхождения, каппа-каррагинан, рецептура, показатели качества и безопасности.

Для цитирования: Журавлев Р. А., Дунец Е. Г., Джум Т. А., Тамова М. Ю. Технология производства и контроль качества мусса на основе пюре фейхоа и пахты // Ползуновский вестник. 2024. № 2, С. 79–88. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.010. EDN: <https://elibrary.ru/LOOCTV>.

© Журавлев Р. А., Дунец Е. Г., Джум Т. А., Тамова М. Ю., 2024

Original article

PRODUCTION TECHNOLOGY AND QUALITY CONTROL MOUSSE BASED ON FEIJOA PUREE AND BUTTERMILK

Rostislav A. Zhuravlev¹, Elena G. Dunets²,
Tatiana A. Dzhum³, Maya Yu. Tamova⁴

^{1, 2, 3, 4} Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuban State Technological University", Krasnodar, Russia

¹ irostdx@gmail.com, <https://orcid.org/0000-2701-734X>

² dunetsL@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4499-9069>

³ tatalex7@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4025-326X>

⁴ tamova_maya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0710-8279>

Abstract. Among the population of various age groups, especially children, sweet dishes with a whipped structure are very popular, the quality of which can be improved by enriching them with essential nutrients. The purpose of the study is to develop technology and formulations of combined mousses using milk processing products and local fruit raw materials. Whey and buttermilk were used as milk raw materials for comparison with the study of their foaming ability associated with the presence of proteins in their composition, which are stabilizers of interfacial foam films. These products are characterized by a chemical composition balanced in a favorable ratio for the human body, including casein, lactoalbumin, lactoglobulin, essential fatty acids, ash elements, and vitamins. Therefore, their use as a basis in the process of making desserts is relevant, meets the principles of full nutrition, the requirements of waste-free technology and rational use of raw materials, which positively affects the economic performance of the enterprise. An integral part of a healthy diet is also the regular consumption of fruits, vegetables and berries, characterized as an indispensable source of dietary fiber, organic acids, vitamins, macro- and microelements, bioflavonoids. In this regard, for the production of whipped desserts on a dairy basis, it is important to use fruit and berry raw materials, among which feijoa fruits grown in the Krasnodar Territory and characterized by a large amount of iodine, vitamin C, catechins, leucoanthocyanins, pectin substances are considered a fairly new prescription component. Jelly-like structures of products can be obtained using thickeners and foam stabilizers, the diversity of which is known to culinary practice. Of particular interest are carrageenans, polysaccharides obtained from some species of red algae, taking into account their biological, physico-chemical properties and structure, the use of which is relevant for stabilizing and increasing the biological value of dairy-based desserts. The production of sweet dishes with the inclusion of the whipping process in the technological scheme, the improved composition of ingredients allows you to diversify the diet, increase the taste qualities of products, at the same time reducing its cost.

Keywords: mousse, foaming ability, buttermilk, feijoa, structure-forming agents of vegetable origin, kappa-carrageenan, formulation, quality and safety indicators.

For citation: Zhuravlev, R.A., Dunets, E.G., Dzhum, T.A. & Tamova, M.Yu. (2024). Production technology and quality control of mousse based on feijoa puree and buttermilk. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 79-88. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.02.010. EDN: <https://elibrary.ru/LOOCTV>.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из главных факторов, влияющих на здоровье нации, является рациональное питание, нацеленное на соответствие естественным процессам усвоения пищевых веществ. Традиционно Краснодарский край позиционирует себя в качестве аграрной житницы России, поэтому с учетом развитого животноводства на Кубани отмечается потребление большого количества молочных продуктов, необходимых для поддержания тонуса и иммунорегуляции. В целом, молочные блюда

ассоциируются с традиционной русской кухней, поэтому потребительский интерес довольно высок к новинкам из данного сырья. Всё это активизирует разработку новой молочной функциональной продукции, среди которой большую популярность имеют десерты, а использование процесса пенообразования в технологической их схеме позволяет улучшить вкусовые качества и придать консистенции воздушность. Самбуки и муссы по своей структуре относятся к пенным системам. Актуальным направлением в этом аспекте является использование нетрадиционных пенообра-

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА МУССА НА ОСНОВЕ ПЮРЕ ФЕЙХОА И ПАХТЫ

зователей. Так, с полной или частичной заменой продуктов животного происхождения – белков куриных яиц, молока, желатина – поверхностно-активными веществами растительного происхождения: белками растительной ткани, сапонинами, пектинами, связаны различные научные исследования, при этом крахмал и слизи являются стабилизаторами пен и эмульсий. Это даёт возможность расширить круг потребителей данной продукции, даже предлагая ее людям с непереносимостью и противопоказанием глютена.

С целью снижения себестоимости десертов на молочной основе и минимизации затрат на утилизацию отходов рационально использовать побочные продукты переработки молока, характеризующиеся наличием в их составе ценных для организма человека нутриентов, особенно молочных белков, отличающихся поверхностно-активными свойствами, что позволяет использовать сыворотку и пахту для взбивания, обеспечивая прочность получаемой пены.

Для обогащения пищевой ценности десертов на основе побочных продуктов переработки молока полисахаридами растительного происхождения, макро- и микроэлементами, биофлавоноидами используется плодово-ягодное сырье. Особый интерес представляют дикорастущие ягоды и плоды, созревающие в естественных экологически благоприятных условиях [3]. Так, достаточно новым рецептурным компонентом для десертов являются плоды фейхоа, выращенные на территории Краснодарского края и Адыгеи, которые по химическому составу (витамины С, катехинам, лейкоантоцианам, пектиновым веществам, эфирным маслам, обладающим иммуностимулирующим действием), пищевым и лечебно-профилактическим качествам превосходят многие плодовые культуры, а по количеству йода их можно сравнить с морепродуктами, являющимися лидерами по этому показателю [5, 7].

Для усовершенствования технологии десертов со взбитой структурой и улучшения их потребительских характеристик используются стабилизирующие добавки и их композиции (структурообразователи), ассортимент которых достаточно широк – желатин, альгинат натрия, камедь рожкового дерева, гуаровая камедь, ксантановая камедь, пектины. Так, для образования взбитой структуры с высокой кратностью и стабильностью получаемой пены напитка функциональной направленности на основе творожной сыворотки используют гуаран и камедь рожкового дерева в концентрации 0,1–0,3 %, что способствует, в свою очередь, нормаль-

ному функционированию кишечника, снижению уровня холестерина в крови, проявлению пребиотического эффекта [2].

В процессе приготовления десертов на выбор стабилизатора оказывают влияние особенности технологии, используемое оборудование, pH среды, содержание в ингредиентах жира, белка, сухих веществ, минерального состава, экономическая целесообразность [1, 4].

К растворимым пищевым волокнам, внесенным в список пищевых компонентов при соответствии параметрам, регламентированным Международным экспертным комитетом пищевых добавок (IECF), относятся каррагинаны, использование которых актуально при приготовлении молочных десертов со взбитой структурой для их стабилизации и повышения биологической ценности. Это связано с биологическими свойствами каррагинанов с учетом их физико-химических свойств и структуры, отличающейся большим разнообразием, блочным строением полимерной цепи, что определяется родовой принадлежностью водоросли и условиями ее произрастания [1].

Целью исследования явилась разработка научно-обоснованных способов и технологий производства ассортимента комбинированных сладких блюд со взбитой структурой с использованием продуктов переработки молока и локального плодового сырья.

МЕТОДЫ

Так как исследование было нацелено на разработку новой технологии и рецептуры с использованием вторичных продуктов переработки молока и витаминизации на основе локального плодового сырья с насыщением пищевыми волокнами, то в качестве объектов использованы молочная сыворотка (ГОСТ Р 53438), пастеризованная пахта (ГОСТ 34354), локальное плодовое сырье – яблоки и фейхоа. В связи с тем, что определяли оптимальную способность стабилизировать взбитую пищевую систему на основе пахты, то в качестве структурообразователей изучали гуаровую камедь, ксантановую камедь (ГОСТ 33333), цитрусовый высокоэтерифицированный пектин (ГОСТ 29186), желатин (ГОСТ 11293), сироп корня солодки (ГОСТ 22840), яичный белок (ГОСТ 30363), каппа-каррагинан.

Исследования полученных образцов муссов проводили в лабораторных условиях кафедры общественного питания и сервиса ФГБОУ ВО «КубГТУ», г. Краснодар.

В ходе работы определяли кратность пены, температуру плавления образцов гелей, прочность изделий. Используя ГОСТ 28561 с описанием термогравиметрического

метода, определяли количество влаги и сухих веществ. Кислотность готовой продукции определяли по ГОСТ ISO 750, а её плотность – гравиметрическим методом. Основой для определения пищевой и энергетической ценности являлся химический состав продукции, а микробиологические ее показатели сравнивали с требованиями ТР ТС 021/2011, используя доказательную базу гармонизированных стандартов – ГОСТ 10444.1, ГОСТ 26669, ГОСТ 10444.15, ГОСТ 26670, ГОСТ 31904, ГОСТ 31746.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Муссы, приготовленные по традиционной технологии, характеризуются низкой физиологической ценностью из-за использования воды (от 60 % до 80 % от массы готового продукта) в качестве жидкой основы, что является их недостатком. Для нивелирования этого недостатка предлагается использовать побочные продукты переработки молока – сыворотку или пахту для основы мусса. Для обоснования данного предложения сравнен химический состав молока и

побочных продуктов молочного производства. На основании этого выявлено, что минеральный состав пахты по количеству кальция, магния и фосфора превосходит сыворотку. Помимо этого, можно отметить наличие наибольшего количества сухих веществ, особенно белка, в химическом составе пахты, что важно при процессе пенообразования, в котором этот нутриент задействован как поверхностно-активное вещество и высокомолекулярное соединение. Поэтому смесь на основе побочных продуктов молочного производства будет обладать дополнительной пенообразующей способностью сыворотки и пахты сравнивали их взбитые основы без добавления дополнительных компонентов с растворами традиционных пенообразователей. Молочные компоненты взбивали при температуре от 0 °С до 5 °С, а растворы традиционных пенообразователей – сиропа корня солодки, яичного белка и желатина – при температуре 18±2 °С. Пенообразующая способность данных продуктов и стабильность полученных пен продемонстрирована на рисунке 1.

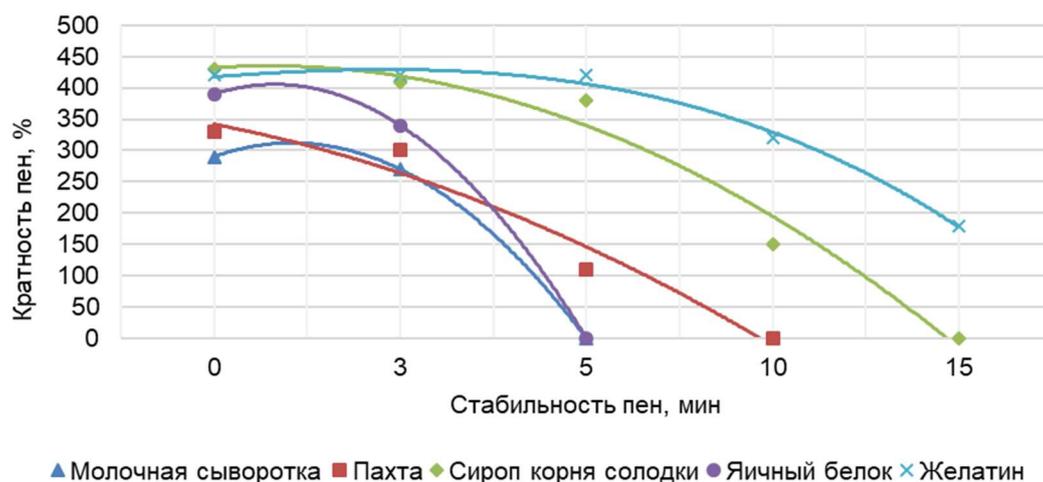


Рисунок 1 – Динамика разрушения пен во времени

Figure 1 - Dynamics of foam destruction over time

Анализируя данные рисунка 1, можно отметить, что самую низкую кратность пены продемонстрировала сыворотка (280 %), выше пенообразующая способность у пахты (330 %). Это можно объяснить более высоким показателем активной кислотности пахты (4,4–4,8), что положительно влияет на эту способность. Данный показатель сыворотки составляет от 4,0 до 4,2. Но в целом продукты переработки молока уступают по кратности пен традиционным пенообразователям. По динамике разрушения полученных пен во времени можно отметить у всех образцов низкую стабильность.

Таким образом, для пенной основы ком-

бинированного мусса выбрана пахта, так как и по химическому составу, и по пенообразующей способности она превосходит сыворотку.

Чтобы придать пене, полученной путем взбивания пахты, большую кратность и стабильность, необходимо дополнительно использовать структурообразователи, часть которых представлена на рисунке 2, демонстрирующем влияние их концентрации на пенообразующую способность пахты, а на рисунке 3 – влияние на эту способность природы самого полисахарида в малой концентрации [1, 4].

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА МУССА НА ОСНОВЕ ПЮРЕ ФЕЙХОА И ПАХТЫ

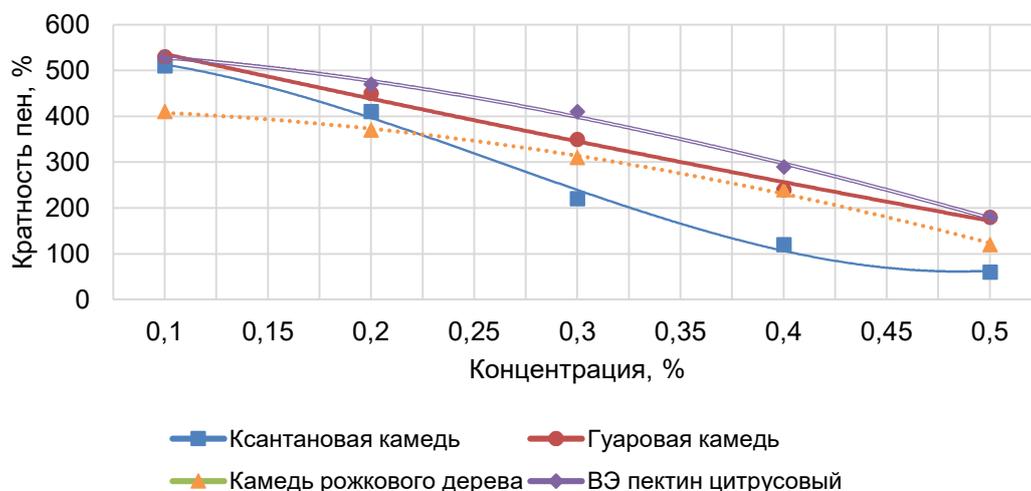


Рисунок 2 – Влияние концентрации и природы полисахарида на пенообразующую способность пахты

Figure 2 - The effect of the concentration and nature of polysaccharides on the foaming ability of buttermilk

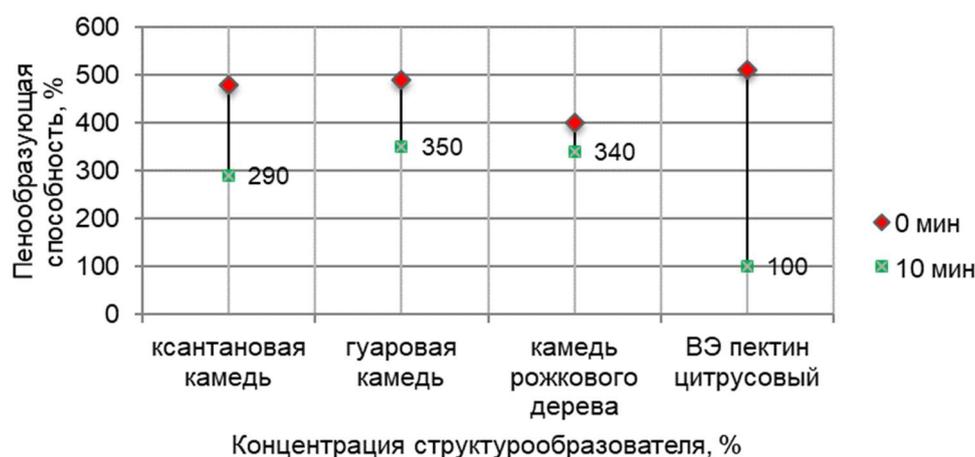


Рисунок 3 – Влияние природы полисахарида на стабильность взбитой пищевой системы на основе пахты

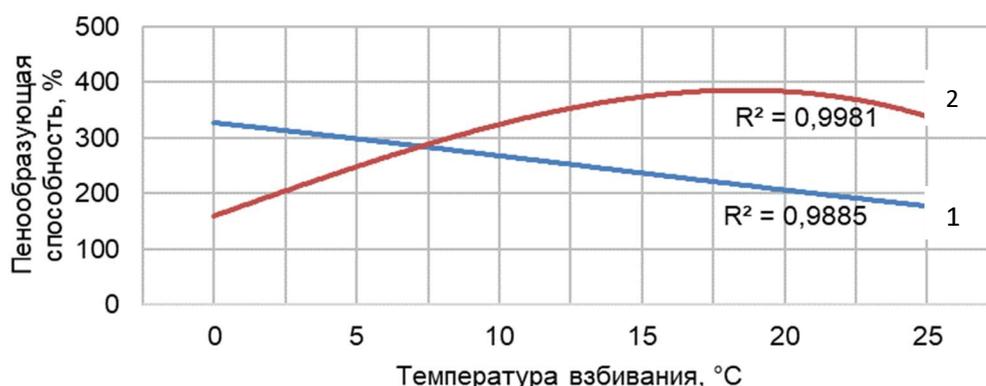
Figure 3 - The effect of the nature of the polysaccharide on the stability of the whipped buttermilk-based food system

Среди структурообразователей можно отметить некрахмальные полисахариды различной природы – нейтральные в виде гуаровой камеди, камеди рожкового дерева, анионные полисахариды, представленные высокоэтерифицированным пектином и ксантановой камеди. Проводя исследования, выявлено, что использование их в малой концентрации (0,1 %) способствует получению пен высокой кратности (400–500 %), а с повышением концентрации загустителя кратность пен снижается, так как увеличивается вязкость [1, 6, 10].

Анализируя полученные данные, представленные на рисунке 3, можно отметить высокую пенообразующую способность пектина и минимальную его стабильность, так как через

10 минут кратность пены, полученной с его участием, снизилась с 500 % до 100 %. Минимальное снижение пены продемонстрировал полисахарид – гуаровая камедь, с участием которого кратность полученной пены через 10 минут снизилась с 500 % до 350 %, что явилось лучшим показателем среди остальных исследуемых образцов.

Поэтому в процессе дальнейшей разработки планируется использовать в процессе взбивания пахты в качестве стабилизатора пены гуаровую камедь. С учетом этого необходимо выявить влияние температуры взбивания. Результаты данного исследования представлены на рисунке 4.



1 – пахта без добавления полисахарида; 2 – пахта с гуаровой камедью

Рисунок 4 – Влияние температуры взбивания молочной основы на пенообразующую способность

Figure 4 - The effect of the whipping temperature of the milk base on the foaming ability

Как показали результаты исследования, оптимальной температурой взбивания пахты с добавлением гуаровой камеди является диапазон от 15 до 20 °С. В этом температурном интервале отмечается лучшая адсорбция стабилизатора на межфазных пенных пленках пахты, газодерживающая способность системы, снижение скорости истечения жидкости из пенных ячеек, уменьшение давления внутри пузырьков с воздухом – всё это способствует устойчивости пены. При повышении температуры выше 20 °С устойчивость пены снижается, так как уменьшается поверхностное натяжение жидкой фазы, что приводит к повышению давления внутри газовых пузырьков и снижению адсорбции стабилизатора на поверхностных пленках пены, следствием чего является уменьшение ее кратности.

Для улучшения стабильности пен можно комбинировать различные стабилизаторы, добавив к исследуемой пищевой системе (пахты с гуаровой камедью) каппа-карра-

гинан, относящийся к полисахаридам растительного происхождения и обладающий реологическими свойствами, что позволяет его использовать в качестве загустителя и гелеобразователя.

При разработке новой технологии и рецептуры комбинированного мусса за основу взята рецептура мусса яблочного, в которой в качестве загустителей используются в одном варианте желатин, а в другом – крупа манная [9].

При усовершенствовании технологического процесса с использованием каппа-карагинана, часть воды, предусмотренной в рецептуре мусса, заменяется пахтой. Для определения оптимального количества каппа-карагинана провели ряд исследований, связанных с определением его концентрации, необходимой для гелеобразования муссов на яблочной основе и пахты (таблица 1), провели органолептическую оценку муссов с разной концентрацией каррагинана, в том числе и структурно-механические показатели полученных десертов.

Таблица 1 – Зависимость концентрации каррагинана и температур застудневания и плавления мусса на основе яблочного пюре и пахты

Table 1 - Dependence of carrageenan concentration and the temperature of solidification and melting of mousse based on applesauce and buttermilk

№ образца	Вид и концентрация структурообразователя	Температура застудневания, °С	Температура плавления, °С
1 (контроль)	желатин 2,7 %	18	25
2 (контроль)	крупа манная 8,0 %	20	30
3	каррагинан 0,2 %	–	–
4	каррагинан 0,4 %	30	40
5	каррагинан 0,6 %	32	45
6	каррагинан 0,8 %	36	50
7	каррагинан 1,0 %	42	53

Для процесса гелеобразования необходима концентрация каррагинана более 0,2 %. Исследуемые образцы муссов с концентрацией каррагинана от 0,4 до 1 % про-

демонстрировали однородную текстуру и сохраняющую форму.

Результаты проведенного органолептического анализа исследуемых образцов мусса представлены в таблице 2.

**ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА МУССА НА ОСНОВЕ
ПЮРЕ ФЕЙХОА И ПАХТЫ**

Таблица 2 – Органолептическая оценка муссов на основе яблочного пюре и пахты [8, 9]

Table 2 - Organoleptic evaluation of mousses based on applesauce and buttermilk

Критерии	Органолептические показатели					
	Концентрация каррагинана в муссе, %				Мусс яблочный (контроль на манной крупе)	Мусс яблочный (контроль на желатине)
	0,2	0,4	0,6	0,8		
Внешний вид	желеобразная, недостаточно взбитая в пену масса, неоднородная, плохо держит форму		желеобразная взбитая в пену масса, однородная, хорошо сохраняющая форму		Желеобразная взбитая в пену масса, однородная, хорошо сохраняющая форму	
	2,5		4,6	4,5	4,1	4,6
Консистенция	желеобразная, растекающаяся		желеобразная, пышная, нежная		желеобразная, пышная, нежная	
	2,7		4,5	4,6	3,6	4,5
Цвет	молочно-белый с кремово-желтоватым оттенком				белый с кремово-желтоватым оттенком	
	4,7		4,7	4,6	4,4	4,7
Запах	с характерным запахом пахты и яблочного пюре				типичный для яблочного пюре	
	4,7		4,7	4,6	4,4	4,7
Вкус	кисло-сладкий, освежающий, с привкусом пахты и яблочного пюре, без посторонних привкусов				кисло-сладкий с кисловатым привкусом	
	4,4		4,6	4,5	4,3	4,6

Образцы с концентрацией каррагинана 0,4 % и 0,6 % соответственно отмечены лучшими органолептическими показателями.

Структурно-механические показатели мусса на основе яблочного пюре и пахты с использованием каррагинана соответствуют образцам, приготовленным по традиционной рецептуре [8] с сокращением времени застудивания сладкого блюда.

Как показали результаты исследования, степень синерезиса муссов, приготовленных с использованием каррагинана и гуаровой

камеди, заметно ниже, чем муссов, приготовленных по традиционной технологии. Это связано с взаимодействием и синергетическим эффектом между структурообразователями. Стабилизация качества увеличивает срок реализации десерта.

Структура сладкого блюда также характеризуется его плотностью. Поэтому установленная плотность образцов муссов с добавлением каррагинана сравнивалась с контрольными образцами (таблица 3).

Таблица 3 – Плотность исследуемых образцов муссов

Table 3 - Density of the studied mousse samples

Плотность образцов, г/см ³				
Концентрация каррагинана в муссе, %			Мусс яблочный на манной крупе	Мусс яблочный на желатине
0,4	0,6	0,8		
0,795	0,815	0,830	0,775	0,850

Как показали результаты исследования, плотность образцов муссов, приготовленных с каррагинаном, незначительно уступает контрольным образцам.

Определена массовая доля сухих веществ и титруемая кислотность образцов муссов, показатели которых сравнены с контрольными образцами (таблица 4).

Таблица 4 – Физико-химические показатели образцов муссов [8]

Table 4 - Physico-chemical parameters of mousse samples

Наименование показателя	Концентрация каррагинана в муссе, %			Мусс яблочный на манной крупе	Мусс яблочный на желатине
	0,4	0,6	0,8		
Титруемая кислотность, в перерасчете на яблочную кислоту, %	0,92	0,87	0,82	0,60	0,67
Массовая доля сухих веществ, %	24,9	25,0	25,3	25,3	22,2

Показатель титруемой кислотности у образцов, полученных по разработанной технологии, выше, чем у контрольных, за счет использования пахты в качестве жидкой основы вме-

сто воды. Массовая доля сухих веществ образцов, полученных по разработанной технологии, соответствует контрольным образцам.

Так как показатели качества образцов

муссов на основе яблочного пюре и пахты с массовой долей каррагинана 0,4 % и 0,6 % к массе изделия наиболее близки к показателям контрольных образцов, приготовленных по традиционной технологии, то целесообразно взять за основу образец с количеством каррагинана 0,4 % к массе десерта.

Для повышения массовой доли физиологически активных веществ, в том числе пищевых волокон, йода, витамина С предложено заменить яблочное пюре на пюре из фейхоа в качестве плодовой основы комбинированного мусса.

Для получения пюре из фейхоа проведена инспекция плодового сырья, мойка, у плодов удалены плодоножка и хвостик от цветоноса, с последующей нарезкой и измельчением через мясорубку или на блендере, протиранием через сито и соединением с лимонной кислотой [9].

Таблица 5 – Рецептуры муссов [9]

Table 5 - Mousse formulations

Состав сырья	Контроль		Образец № 1		Образец № 2		Образец № 3	
	брутто	нетто	брутто	нетто	брутто	нетто	брутто	нетто
Яблоки	341,0	300,0	–	–	–	–	–	–
Масса пюре яблочного	–	235,0	–	–	–	–	–	–
Фейхоа	–	–	225,0	215,0	300,0	285,0	375,0	355,0
Масса пюре из фейхоа	–	–	–	150,0	–	200,0	–	250,0
Сахар	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0
Крупа манная	80,0	80,0	–	–	–	–	–	–
Каррагинан	–	–	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Гуаровая камедь	–	–	0,68	0,68	0,63	0,63	0,58	0,58
Кислота лимонная	1,5	1,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Вода	750,0	750,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
Пахта	–	–	680,0	680,0	630,0	630,0	580,0	580,0
Выход	–	1000,0	–	1000,0	–	1000,0	–	1000,0

В качестве контрольного образца использован мусс яблочный на манной крупе. Рецептуры муссов представлены в таблице 5.

Полученные образцы исследовали по органолептическим и физико-химическим показателям. По органолептической оценке выделен как лучший образец – мусс с содержанием пюре из фейхоа 20 % от массы готового блюда (№ 2), внешний вид которого отличал-

Для установления оптимального количества фейхоа для новой рецептуры мусса на основе пахты были изучены три образца с различным содержанием плодового пюре, приготовленные по разработанной технологии, предусматривающей следующие операции:

- каррагинан в течение 40 минут при гидромодуле 1:40 подвергается набуханию;
- пахта, гуаровая камедь и сахар при температуре 15–20 °С взбиваются до густой массы. Для снижения кислотности мусса на основе пахты уменьшена закладка лимонной кислоты с 0,15 % до 0,05 % к массе готового блюда;
- вводится пюре из фейхоа, интенсивно перемешивается в течение 3 минут;
- раствор каррагинана доводится до кипения, охлаждается до температуры 60 °С и вводится в полученную смесь при непрерывном помешивании;
- масса разливается в формы и охлаждается при температуре 0–8 °С.

ся однородностью и хорошим сохранением формы, молочно-белым с кремово-желтоватым цветом, пышной и нежной консистенцией, с характерным запахом пахты и пюре из фейхоа, освежающим, кисло-сладким вкусом, без посторонних привкусов.

Физико-химические показатели и плотность образцов муссов на основе пюре фейхоа и пахты представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Физико-химические показатели и плотность образцов муссов

Table 6 - Physico-chemical parameters and density of mousse samples

Наименование показателя	Контроль	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
Титруемая кислотность, в перерасчете на яблочную кислоту, %	0,600	0,750	0,790	0,860
Массовая доля сухих веществ, %	25,300	24,700	25,000	25,400
Плотность, г/см ³	0,775	0,785	0,800	0,815

Физико-химические показатели мусса на основе пюре из фейхоа и пахты близки к зна-

чениям контрольного образца, приготовленного согласно традиционной рецептуре.

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА МУССА НА ОСНОВЕ ПЮРЕ ФЕЙХОА И ПАХТЫ

Исследуя пищевую и энергетическую ценность разработанного мусса в сравнении с контрольными образцами, можно отметить повышенное содержание в нём кальция, йода и витамина С. Энергетическая ценность мус-

са на основе пюре фейхоа и пахты в 3,3 раза ниже, чем у образца, приготовленного на манной крупе.

Проведены микробиологические исследования комбинированного мусса в таблице 7.

Таблица 7 – Микробиологические показатели мусса на основе пюре фейхоа и пахты
Table 7 - Microbiological parameters of mousse based on feijoa puree and buttermilk

Наименование образца	Содержание в готовой продукции			
	Мезофильно-аэробные и факультативно анаэробные микроорганизмы (МАФАНИМ), КОЕ/г	Бактерии группы кишечной палочки (БГКП (колиформы) в 1 г продукта	S. aureus в 1 г продукта	Патогенные микроорганизмы в 25 г продукта
Допустимый уровень по ТР ТС 021/2011	5·10 ²	не допускается		
Мусс на основе пюре фейхоа и пахты	45	не обнаружено		
Спустя 24 ч хранения при температуре от 2 °С до 6 °С				
Мусс на основе пюре фейхоа и пахты	250	не обнаружено		

Результаты исследований подтверждают соответствие разработанного мусса на основе пюре фейхоа и пахты санитарно-гигиеническим нормативам по показателям качества и пищевой безопасности.

ВЫВОДЫ

В ходе исследования был изучен химический состав молочного и растительного сырья, используемого при разработке муссов на основе плодового пюре; сравнивалась экспериментальным путем пенообразующая способность побочных продуктов переработки молока – молочной сыворотки и пахты с традиционными пенообразователями (сиропом корня солодки, яичным белком, желатином); изучалось влияние ингредиентов полисахаридной природы на пенообразующую способность взбитой основы. Разработаны способы стабилизации взбитой пищевой системы полисахаридами растительного происхождения, рецептура и технология мусса на основе плодового пюре, побочных продуктов молочного производства и структурообразователей растительного происхождения с оценкой показателей качества и безопасности десерта функционального назначения. Согласно полученным результатам исследований, можно сделать вывод о том, что разработанный мусс на основе пюре фейхоа и пахты соответствует нормативным показателям, отличается повышенным содержанием кальция, йода и витамина С, низкокалориен, что в целом отвечает принципам функционального питания. Данный десерт может быть рекомендован для внедрения в ассортиментную

политику действующих предприятий общественного питания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермак И.М. Иммуномодулирующая активность каррагинанов из красных водорослей дальневосточных морей / Ермак И.М. [и др.] // Тихоокеанский медицинский журнал. 2009. № 3 (37). С. 40–45.
2. Журавлёв Р.А. Потребительская характеристика десертов на основе творожной сыворотки и плодовоовощного сырья / Журавлёв Р.А. [и др.] // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». 2016. № 14. С. 121–129.
3. Инновации в индустрии питания : учеб. пособие / Т.А. Джум, М.Ю. Тамова. Краснодар : ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2023. 380 с.
4. Использование ксантановой камеди в качестве структурообразователя при производстве бисквитного полуфабриката / Мысаков Д.С. [и др.] // Новые технологии. 2014. № 3. С. 13–20.
5. Исследования экстрактов плодов фейхоа / Симоненко Е.С. [и др.] // Международный научный исследовательский журнал. 2018. № 11–2 (77). С. 50–54.
6. Кабанова Т.В., Шабдарова Т.Г., Коновалова Л.В. К вопросу о производстве кисломолочных напитков из пахты // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2018. № 20. С. 252–255.
7. Калашнова Т.В., Беляева И.А. Расширение ассортимента муссов диабетического назначения // Современная наука и инновации. 2016. № 1 (13). С. 73–77.
8. Могильный М.П., Шленская Т.В., Лежина Е.А. Контроль качества продукции общественного питания : учебник. Москва : ДеЛи плюс, 2016.
9. Сборник технологических нормативов. Сборник рецептов блюд и кулинарных изделий для предприятий общественного питания / Под ред. Ф.Л. Марчука. М. : Хлебпроинформ, 1996. 620 с.

10. Седых Е.Ю., Шайахметов Б.Д. Пахта как функциональный продукт // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2019. № 21. С. 221–223.

Информация об авторах

Р. А. Журавлев – кандидат технических наук, доцент кафедры общественного питания и сервиса Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кубанский государственный технологический университет».

Е. Г. Дунец – кандидат технических наук, доцент кафедры общественного питания и сервиса Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кубанский государственный технологический университет».

Т. А. Джум – кандидат технических наук, доцент кафедры общественного питания и сервиса Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кубанский государственный технологический университет».

М. Ю. Тамова – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой общественного питания и сервиса Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кубанский государственный технологический университет».

REFERENCES

1. Ermak, I.M. [et al.]. (2009). Immunomodulatory activity of carrageenans from red algae of the Far-East seas. Pacific Medical Journal. 3 (37). 40-45. (In Russ.).
2. Zhuravlev, R.A. [et al.]. (2016). Consumer characteristics of desserts based on curd whey and fruit and vegetable raw materials. Electronic network polythematic journal "Scientific works of KubSTU". (14). 121-129. (In Russ.).
3. Djum, T.A. & Tamova, M.Y. (2023). Innovations in the food industry: studies. according to. Krasnodar : FGBOU VO "KubSTU", 380 p. (In Russ.).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 14 ноября 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 06 мая 2024.

The article was received by the editorial board on 14 Nov 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 06 May 2024.

4. Mysakov, D.S. [et al.]. (2014). The use of xanthan gum as a structure-forming agent in the production of semi-finished biscuit. New technologies. (3). 13-20. (In Russ.).

5. Simonenko, E.S. [et al.]. (2018). Studies of extracts of feijoa fruits. International Scientific Research Journal. 11-2 (77). 50-54. (In Russ.).

6. Kabanova, T.V., Shabdarova, T.G. & Konovalova, L.V. (2018). On the issue of the production of fermented milk drinks from buttermilk // Actual issues of improving the technology of production and processing of agricultural products. (20). 252-255. (In Russ.).

7. Kalashnova, T.V. & Belyaeva, I.A. (2016). Expanding the range of mousses for diabetic use. Modern science and innovation. 1 (13). 73-77. (In Russ.).

8. Mogilny, M.P., Shlenskaya, T.V. & Lezhina, E.A. (2016). Quality control of public catering products: textbook. Moscow : Delhi Plus. (In Russ.).

9. Marchuk, F.L. [Ed.]. (1996). Collection of technological standards. Collection of recipes of dishes and culinary products for catering enterprises. M. : Khlebproinform, 620 p. (In Russ.).

10. Sedykh, E.Yu. & Shayakhmetov, B.D. (2019). Buttermilk as a functional product. Topical issues of improving the technology of production and processing of agricultural products. (21). 221-223. (In Russ.).

Information about the authors

R.A. Zhuravlev - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Public Catering and Service of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuban State Technological University".

E.G. Dunets - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Public Catering and Service of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuban State Technological University".

T.A. Dzhum - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Public Catering and Service of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuban State Technological University".

M.Y. Tamova - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Public Catering and Service of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuban State Technological University".



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 641.856:635

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.011

 EDN: INMXQZ

ПЕРСПЕКТИВЫ РАСШИРЕНИЯ АССОРТИМЕНТА ВЗБИТЫХ ОВОЩНЫХ БЛЮД

Марина Александровна Вайтанис ¹, Зоя Рафаиловна Ходырева ²

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

^{1,2} Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия

¹ gazenauer@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5012-6304>.

² rafailovna-1977@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6459-0271>

Аннотация. Блюда из овощей являются важными в ежедневном рационе человека, поскольку позволяют восполнить суточную потребность организма в пищевых волокнах, витаминах и минералах. Целью работы является разработка суфле из тыквы с добавлением гороховой муки. Объект исследования – суфле из тыквы с добавлением гороховой муки в количестве до 30 %. Предмет исследования – органолептические и физико-химические показатели: массовая доля влаги, кислотность, выход и микробиологические показатели суфле на основе тыквы с добавлением гороховой муки. Составлены образцы пищевых систем для суфле из тыквы с внесением различного количества гороховой муки и проведена органолептическая оценка в сравнении с контрольным образцом (с добавлением пшеничной муки). Проведена дегустационная оценка суфле из тыквы с гороховой мукой и определено количество гороховой муки, позволяющей обеспечить наилучшие органолептические характеристики. Внесение гороховой муки в суфле из тыквы приводит к снижению массовой доли влаги на 11,9 %, увеличению кислотности – на 0,58 град и увеличению выхода блюда – на 2,1 % в сравнении с контрольным образцом, выработанным с добавлением пшеничной муки. Количество вносимой гороховой муки, необходимой для достижения наилучших органолептических показателей суфле, составило 15 %. Установлено, что внесение гороховой муки в количестве 15 % в суфле из тыквы приводит к обогащению их пищевыми волокнами, витаминами группы В, витамином А, макроэлементами: натрием, фосфором и микроэлементами: железом, селеном, марганцем и медью.

Ключевые слова: тыква, гороховая мука, пищевая система, суфле, показатели качества.

Для цитирования: Вайтанис М. А., Ходырева З. Р. Перспективы расширения ассортимента взбитых овощных блюд // Ползуновский вестник. 2024. № 2, С. 89–95. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.011. EDN: <https://elibrary.ru/INMXQZ>.

Original article

PROSPECTS FOR EXPANDING RANGE OF WHIPPED VEGETABLE DISHES

Marina A. Vaytanis ¹, Zoja R. Khodyreva ²

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

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

¹ gazenauer@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5012-6304>.

² rafailovna-1977@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5012-6304>

© Вайтанис М. А., Ходырева З. Р., 2024

Abstract. Vegetable dishes are important in the daily human diet, as they allow you to fill the body's daily need for dietary fiber, vitamins and minerals. The aim of the work is to develop a pumpkin soufflé with the addition of pea flour. The object of the study is a pumpkin soufflé with the addition of pea flour in an amount of up to 30%. The subject of the study is organoleptic and physico-chemical parameters: mass fraction of moisture, acidity, yield and microbiological parameters of pumpkin-based soufflé with the addition of pea flour. Samples of food systems for pumpkin soufflé with the addition of various amounts of pea flour were compiled and an organoleptic assessment was carried out in comparison with a control sample (with the addition of wheat flour). A tasting evaluation of pumpkin soufflé with pea flour was carried out and the amount of pea flour was determined, which allows to ensure the best organoleptic characteristics. The addition of pea flour to a pumpkin soufflé leads to a decrease in the mass fraction of moisture by 11.9%, an increase in acidity by 0.58 degrees and an increase in the yield of the dish by 2.1% compared with the control sample produced with the addition of wheat flour. The amount of added pea flour required to achieve the best organoleptic characteristics of the soufflé was 15%. It was found that the introduction of pea flour in an amount of 15% in pumpkin soufflé leads to their enrichment with dietary fibers, B vitamins, vitamin A, macronutrients: sodium, phosphorus and trace elements: iron, selenium, manganese and copper.

Keywords: pumpkin, pea flour, food system, soufflé, quality indicators.

For citation: Vaytanis, M.A. & Khodyreva, Z.R. (2024). Prospects for expanding range of whipped vegetable dishes. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 89-95. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.02.011. EDN: <https://elibrary.ru/INMXQZ>.

ВВЕДЕНИЕ

Большой интерес среди производителей и потребителей вызывают взбитые продукты с пенообразной структурой. Основой таких продуктов являются взбивные агенты (концентраты), которые обладают способностью придавать готовым продуктам высокую степень взбитости и стабильность структуры [1].

Согласно кулинарному справочнику В.В. Похлебкина, суфле (от фр. *soufflé* – пышный, воздушный пирог) – это взбитые в пену полужидкие или тонко растертые в пудру пищевые продукты [2]. Суфле чаще всего делают из яиц с разными ароматическими добавками, и поэтому в меню ресторанов под суфле понимают только взбитые белки с различными добавками и крем из них. В кулинарном же отношении в суфле, то есть в пенистую массу, могут взбиваться и другие продукты, вплоть до мяса. Поэтому суфле как кулинарный термин означает пенообразное состояние [2].

В сборниках рецептов блюд и кулинарных изделий для предприятий общественного питания представлен весьма ограниченный ассортимент суфле, вырабатываемый из овощей. В этой связи разработка суфле из тыквы на основе местного сырья является весьма актуальной задачей [3].

В России тыква появилась в XIX веке и быстро распространилась. Тыква используется для приготовления разнообразных блюд, ее добавляют в хлебобулочные, кондитерские изделия, готовят пюреобразные супы, цукаты [4]. Плоды тыквы по своему химическому составу содержат пищевые волокна,

пектиновые вещества, сахара, каротины, витамины группы В, витамины А, Е, РР, С, минеральные вещества, такие как магний, железо, калий, кальций и фосфор [3, 4–8].

В технологии приготовления взбитых продуктов применяется различное растительное сырье, которое выполняет роль пенообразователей и стабилизаторов за счет содержания в них белков и пектинов. Аналогичными пенообразующими и эмульгирующими свойствами обладают бобовые культуры, за счет высокого содержания белков и наличия сапонинов. Бобовые культуры обладают высокой пищевой ценностью, имеют широкое применение при производстве различных продуктов и занимают значительное место в рационе питания россиян.

Наличие пенообразующих свойств у гороховой муки предполагает ее использование в технологии различных продуктов со взбитой структурой, например, суфле [3, 7, 8]. Гороховая мука богата белком – 23,0 %, крахмалом – 44,7 %, является источником пищевых волокон, витаминов группы В, витаминов Н, РР, минеральных веществ: калия, кремния, магния, фосфора, железа, марганца, меди, цинка и селена [6].

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Разработка суфле из тыквы с добавлением гороховой муки.

ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ:

- составить опытные образцы пищевой системы для суфле из тыквы в сочетании с гороховой мукой;

ПЕРСПЕКТИВЫ РАСШИРЕНИЯ АССОРТИМЕНТА ВЗБИТЫХ ОВОЩНЫХ БЛЮД

- исследовать органолептические показатели пищевой системы для суфле на основе тыквы с гороховой мукой;
- исследовать органолептические, физико-химические и микробиологические показатели качества суфле из тыквы с гороховой мукой;
- определить количество внесения гороховой муки, позволяющей обеспечить наилучшие характеристики качества суфле.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объекта исследования было использовано следующее:

- тыква продовольственная свежая, по качеству соответствующая требованиям ГОСТ 7975-2013 [9];
- мука гороховая, по качеству соответствующая требованиям ТУ 9293-009-89751414-10 (торговая марка «Образ жизни Алтая»);
- опытные образцы пищевых систем для суфле из тыквы с различным количеством гороховой муки;
- опытные образцы суфле из тыквы с различным количеством гороховой муки.

Для проведения исследования использовали тыкву столовую сорта «Белая дама». Данный сорт характеризуется неволокнистой мякотью, ярко-оранжевым цветом, что позволило получить однородную консистенцию и приятный цвет готовому блюду [3].

Ингредиенты, используемые при составлении пищевой системы для суфле из тыквы в комбинации с гороховой мукой, соответствуют требованиям нормативно-технической документации и ТР ТС 021/2011 [10]. Физико-химические показатели определяли по общепринятым методикам: массовую долю влаги – по ГОСТ Р 54607.2-2012 [11]; кислотность – по ГОСТ 5670-96 [12]. Органолептические показатели проводили по ГОСТ 31986-2012 [13]. Микробиологические показатели определяли по ГОСТ 10444.15-94, ГОСТ 26670-91, ГОСТ 26669-85.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для решения поставленных задач были составлены опытные образцы пищевой системы для суфле на основе тыквы с добавлением различного количества гороховой муки. В качестве контроля для сравнения использовали образец пищевой системы из тыквы с добавлением пшеничной муки. В результате для исследования были подготовлены опытные образцы пищевой системы для суфле, без термической обработки с различным соотношением тыквы и гороховой муки в сравнении с контролем [3].

Полученные опытные образцы пищевой системы на основе тыквы с гороховой мукой оценивали по органолептическим показателям, результаты которых представлены в виде графика 1.

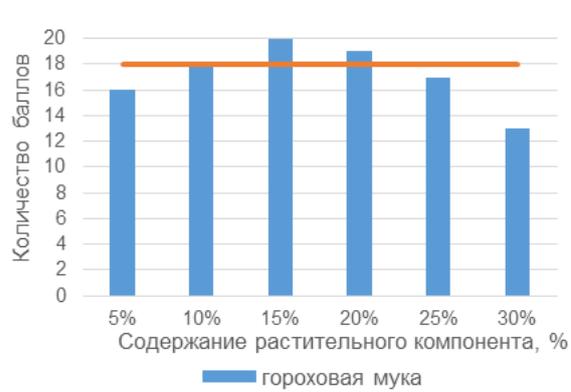


Рисунок 1 – Органолептическая оценка пищевой системы для суфле из тыквы с добавлением гороховой муки

Figure 1 - Organoleptic evaluation of the food system for pumpkin soufflé with the addition of pea flour

Образцы пищевой системы на основе тыквы с добавлением гороховой муки в количестве 15 % и 20 % получили большее количество баллов в сравнении с контрольным образцом (рисунок 1). У образца пищевой системы для суфле из тыквы с гороховой мукой в количестве 30 % отмечается наименьшее количество баллов в сравнении с контролем.

Результаты проведенных исследований показывают, что по внешнему виду образцы представляют собой тестообразную массу. Консистенция пищевой системы для суфле при добавлении гороховой муки в количестве от 5 % до 20 % имеет воздушную, однородную, слегка пенистую, без грубых включений структуру. Последующее внесение гороховой муки в количестве от 25 % и более приводит к изменению консистенции, которая становится более густой и плотной.

По цвету исследуемые образцы имеют светло-оранжевый цвет с вкраплениями, свойственными гороховой муки. Запах пищевой системы для суфле свойственный овощному сырью и ингредиентам, входящим в его состав. Внесение гороховой муки не оказывает влияние на запах пищевой системы для суфле.

В результате проведенной органолептической оценки опытных образцов пищевой системы на основе тыквы с гороховой мукой получили, что наилучшие органолептические показатели пищевой системы для суфле в сравнении с

контрольным образцом отмечаются у образцов с добавлением 15 % и 20 % гороховой муки.

Далее исследуемые образцы помещали в формы и выпекали в пароконвектомате при температуре 180 °С в течение 20 минут, влажностью 100 %. Выпеченные образцы суфле оценивали по органолептическим показателям, используя экспертный метод. Полученные результаты дегустационной оценки представлены в виде профиллограммы (рисунок 2).

По внешнему виду образцы имеют соответствующую форму, в которой они выпекались. Поверхность представляет слегка поджаренную корочку с небольшими трещинами. Консистенция воздушная, однородная, мелкопористая. Цвет суфле насыщенный желтый. Запах и вкус исследуемых образцов имеет свойственный, характерный для тыквы и других ингредиентов, входящих в состав, без посторонних запахов и вкусов.

Установлено, что у образцов суфле из тыквы с внесением 20 % и более гороховой муки теряется воздушность, они становятся плотными и сухими, что не свойственно для взбитых блюд. Максимальное количество баллов отмечено у образца суфле из тыквы с 15 % внесения гороховой муки. Минимальное количество баллов имеет образец с 30 % внесения гороховой муки.

С целью подтверждения достоверности полученных результатов дегустационной оценки определяли согласованность мнений экспертной комиссии в количестве 7 человек, с помощью коэффициента конкордации. Для определения согласованности мнений экспертов была составлена сводная таблица оценок экспертов и рассчитан коэффициент конкордации, который составил 0,87, что свидетельствует о достаточно хорошей согласованности мнений экспертной комиссии.

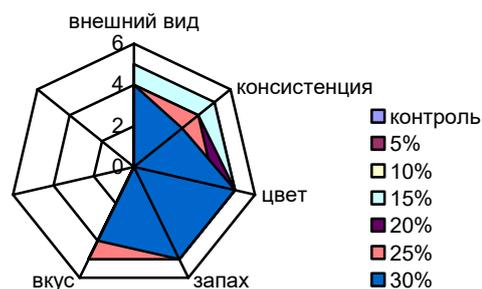


Рисунок 2 – Профиллограмма органолептической оценки суфле из тыквы с гороховой мукой

Figure 2 - Organoleptic evaluation profilogram of pumpkin souffle with pea flour

В результате проведенной дегустационной оценки опытный образец с 15 % гороховой муки обеспечивает наилучшие органолептические характеристики суфле. Внешний вид данного образца продемонстрирован на рисунке 3.

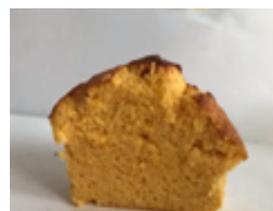


Рисунок 3 – Внешний вид на разрезе суфле из тыквы с 15 % гороховой муки

Figure 3 - Appearance on the cut of a pumpkin souffle with 15% pea flour

Выпеченные образцы суфле в сравнении с контролем оценивали по физико-химическим показателям, результаты которых представлены на рисунке 4.

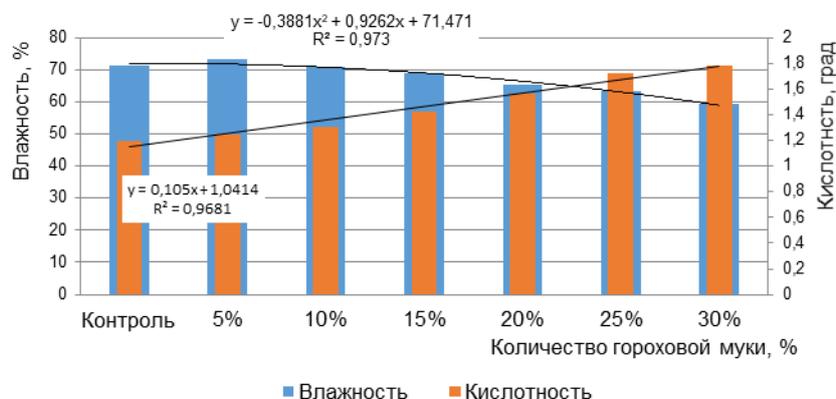


Рисунок 4 – Зависимость влажности и кислотности суфле от количества вносимой гороховой муки

Figure 4 - The dependence of the humidity and acidity of the souffle on the amount of added pea flour

ПЕРСПЕКТИВЫ РАСШИРЕНИЯ АССОРТИМЕНТА ВЗБИТЫХ ОВОЩНЫХ БЛЮД

На рисунке 4 видно, что внесение гороховой муки в суфле из тыквы приводит к снижению массовой доли влаги на 11,9 %. Влажность образца с содержанием гороховой муки 5 % выше по сравнению с контрольным, с добавлением пшеничной муки. У данного образца отмечалась вязкая, липкая консистенция, не удерживающая форму. При внесении гороховой муки свыше 15 % отмечается снижение влажности суфле в сравнении с контролем. Это связано с активным набуханием белков гороховой муки, содержание которых в 1,9 раз больше, чем в пшеничной муке [6]. Также отражалось на консистенции, она становилась более плотной и сухой, что несвойственно для суфле. Это объясняется тем, что вносимой воды и свободной влаги, содержащейся в ингредиентах рецептуры суфле, недостаточно для процессов набухания белков гороховой муки.

Кроме того, внесение гороховой муки в суфле из тыквы приводит к увеличению кислотности на 0,58 град (рисунок 4). Установлено, что кислотность образцов суфле с добавлением гороховой муки выше, чем у контрольного образца. Это объясняется более высокой кислотностью гороховой муки по сравнению с пшеничной, что и привело к накоплению кислотности суфле. Образец суфле с внесением 5 % гороховой муки имеет кислотность ниже, чем контрольный образец, что связано с небольшим количеством внесения муки.

На рисунке 5 представлена динамика изменения выхода суфле от количества вносимой гороховой муки. Как видно из рисун-

ка 5, добавление гороховой муки приводит к увеличению выхода блюда. Выход блюда при добавлении гороховой муки увеличился на 2,1 % в сравнении с контрольным образцом.

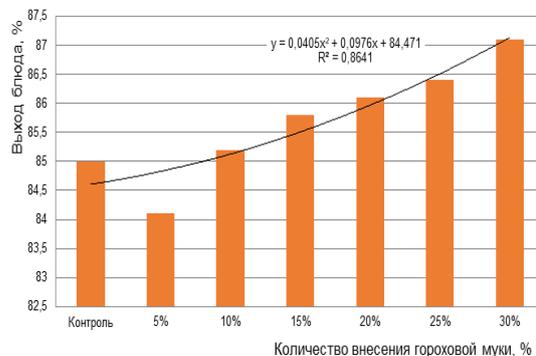


Рисунок 5 – Влияние гороховой муки на выход суфле

Figure 5 - The effect of pea flour on soufflé yield

Образец суфле с добавлением 5 % гороховой муки имеет выход ниже, чем контрольный образец, что связано с внесением небольшого количества гороховой муки.

Исследования микробиологических показателей осуществляли в суфле из тыквы с 15 % гороховой муки в сравнении с контрольным образцом (с пшеничной мукой) в начале срока хранения, после 36 часов (с учетом коэффициента резерва 1,5) хранения при температуре 4 ± 2 °C [14]. Результаты микробиологических исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Микробиологические показатели суфле из тыквы с 15 % гороховой муки в сравнении с контролем

Figure 1 - Microbiological parameters of pumpkin soufflé with 15 % pea flour in comparison with the control

Микробиологические показатели	Допустимые уровни по ТР ТС 021/2011	Контрольный образец	Суфле из тыквы с 15 % гороховой муки
начало хранения			
КМАФАнМ, КОЕ/г, не более	5×10^3	$2,2 \cdot 10^2$	$2,7 \cdot 10^2$
БГКП, г/см ³ в 0,1 г	не допускаются	не обнаружено	не обнаружено
Плесени, КОЕ/г, не более	100	не обнаружено	не обнаружено
после 36 часов хранения при температуре 4 ± 2 °C			
КМАФАнМ, КОЕ/г, не более	5×10^3	$2,5 \cdot 10^2$	$2,9 \cdot 10^2$
БГКП, г/см ³ в 0,1 г	не допускаются	не обнаружено	не обнаружено
Плесени, КОЕ/г, не более	100	не обнаружено	не обнаружено

По полученным результатам, представленным в таблице 1, установили, что в суфле из тыквы с гороховой мукой и в контрольном образце показатель КМАФАнМ в процессе хранения (при температуре 4 ± 2 °C) незначи-

тельно нарастает. В процессе хранения бактерии группы кишечной палочки и плесень не обнаружены.

Пищевую ценность суфле из тыквы с гороховой мукой определяли расчетным мето-

дом, с учетом потерь при тепловой обработке продуктов. Установлено, что в 100 г суфле из тыквы с гороховой мукой в количестве 15 % обеспечивается суточная потребность в пищевых волокнах на 9,0 %; витаминах: А – на 25,0 %, В₄ – на 16,0 %, В₅ – на 20,0 %, В₁₂ – на 14,0 %; в макроэлементах: натрия – на 33,1 %, фосфора – на 10,7 %; в микроэлементах: железа – на 11,1 %, селена – на 11,4 %, марганца – на 21,0 % и меди – на 22,8 %.

ВЫВОДЫ

Составлены опытные образцы пищевых систем для суфле из тыквы с внесением гороховой муки в количестве от 5 % до 30 % и проведена органолептическая оценка в сравнении с контрольным образцом (с добавлением пшеничной муки). Проведена дегустационная оценка суфле из тыквы с гороховой мукой и определено количество гороховой муки, позволяющей обеспечить наилучшие органолептические характеристики.

Внесение гороховой муки в суфле из тыквы приводит к снижению массовой доли влаги на 11,9 %, увеличению кислотности – на 0,58 град и увеличению выхода блюда – на 2,1 % в сравнении с контрольным образцом, выработанным с добавлением пшеничной муки.

В результате проведенных исследований установили, что добавление гороховой муки в количестве 15 % обеспечивает получения наилучших органолептических показателей суфле. Установлено, что суфле с добавлением гороховой муки в количестве 15 % приводит к обогащению их пищевыми волокнами, витаминами группы В, витамином А, макроэлементами: натрием, фосфором и микроэлементами: железом, селеном, марганцем и медью.

Таким образом, предложенная рецептура суфле из тыквы в сочетании с гороховой мукой позволяет расширить ассортимент овощных суфле, получить блюда с высокими потребительскими характеристиками и рекомендовать их для людей, страдающих целиакией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беликова Л.И., Царева Н.И. Применение гороховой муки в технологии сырного суфле // Стратегия развития индустрии гостеприимства и туризма: материалы V Международной интернет-конференции (28 января–25 апреля 2014 г.). Орёл. 2014. С. 413–416.
2. Похлёбкин В.В. Кулинарный словарь. М. : Центрполиграф, 2002. 503 с.
3. Вайтанис М.А., Ходырева З.Р. Исследование реологических свойств пищевой системы для

суфле на основе тыквы // Ползуновский вестник. 2023. № 4, С. 154–126. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.020. EDN: <https://elibrary.ru/xknbnxk>.

4. Разнообразие отечественных сортов тыквы крупноплодной столового назначения / А.В. Бухаров, Н.В. Степанюк, А.Р. Бухарова // Овощи России. 2017. № 2(35). С. 55–61.

5. Вайтанис М.А., Ходырева З.Р. Влияние растительного сырья на качество овощных пюреобразных супов // V Международная научная конференция «Пищевые инновации и биотехнологии. 2017. КемТИПП. С. 281–282.

6. Скурихин И.М., Тутельян В.А. Химический состав российских продуктов питания : Справочник. М. : ДеЛипринт, 2002. 236 с.

7. Chemical composition and biological activity of ripe pumpkin fruits (*Cucurbita pepo* L.) cultivated in Egyptian habitats / S.E. Badr, Y.M. Elkholy, M.H. Helal, A.S. Hamza, M.S. Masoud, M.M. El Safty // Regional Center for Food and Feed (RCFF). 2011. № 25. P. 1524–1539.47.

8. Nutritional Composition of the Pumpkin (*Cucurbita* spp.) / J.K. Karanja, B.J. Mugendi, F.M. Khamis, A.N. Muchugi // LWT Food Sci. Technol. 2013. № 4. P. 17–22.

9. ГОСТ 7975-2013. Тыква продовольственная свежая Технические условия. Введ. 2015.01.01. Москва : Стандартинформ, 2013. 6 с.

10. О безопасности пищевой продукции: технический регламент таможенного союза № 021/2011: [принят решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 года № 880]. Москва : Изд-во стандартов, 2011. 242 с.

11. ГОСТ Р 54607.2-2012. Услуги общественного питания. Методы лабораторного контроля продукции общественного питания. Часть 2. Методы физико-химических испытаний. Введ. 2014.01.01. Москва : Стандартинформ, 2012. 32 с.

12. ГОСТ 5670-96. Хлебобулочные изделия. Методы определения кислотности. Введ. 1997.08.01. Москва : Стандартинформ, 1996. 6 с.

13. ГОСТ 31986-2012. Услуги общественного питания. Метод органолептической оценки качества продукции общественного питания. Введ. 2015.01.01. Москва : Стандартинформ, 2012. 6 с.

14. МУК 4.2.1847-04. Методы контроля. Биологические и микробиологические факторы. Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов. М. : Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 31 с.

Информация об авторах

М. А. Вайтанис – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии продуктов питания» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова; доцент кафедры «Рекреационной географии, сервиса, туризма и гостеприимства» Алтайского государственного университета.

З. Р. Ходырева – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии продуктов питания» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова; доцент кафедры «Рекреационной географии, сервиса, туризма и гостеприимства» Алтайского государственного университета.

REFERENCES

1. Belikova, L.I. & Tsareva, N.I. Uwendung Vun lerzebulli An Der Technologie Vum Kéisouffle // Strategie fir D ' Entwécklung Vun Der Hotelindustrie An Tourismus: Material Vun Der V. International In-Turn Konferenz (28. Januar-25. Abrëll 2014). Adler. 2014. 413-416. (In Russ.).
2. Polebkin, V.V. Kulinarescht Wierderbuch. M. : Zentralpolygraph, 2002. 503 p. (In Russ.).
3. Vaitanis, M.A. & Khodyreva, Z.R. (2023). Investigation of rheological properties of food system for pumpkin-based soufflé. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 154-126. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.020. EDN: <https://elibrary.ru/XKNBXK>. (In Russ.).
4. Diversitéit vun haussorten vu grouss fruucht Kürbis / A.V. Bukharov, N.V. Stepanyuk, A.R. Bukharova // *Geméis an Russland*. 2017. No. 2(35). 55-61. (In Russ.).
5. Vaytanis, M.A. & Khodyreva, Z.R. (2017). The influence of vegetable raw materials on the quality of vegetable pureed soups // V International Scientific Conference "Food innovations and Biotechnologies. *KemTIPP*. 281-282. (In Russ.).
6. Skurihin, A.M. & Tutelyan, V.A. The chemical composition of Russian food products : Handbook. M. : DeLiprint, 2002. 236 p. (In Russ.).
7. Badr, S.E., Elkholy, Y.M. & Helal, M.H. [et al.]. (2011). Chemical composition and biological activity of ripe pumpkin fruits (*Cucurbita pepo* L.) cultivated in Egyptian habitats. *Regional Center for Food and Feed (RCFF)*. No. 25. 1524-1539.47.
8. Karanja, J.K., Mugendi, B.J. & Khamis, F.M. [et al.]. (2013). Nutritional Composition of the Pumpkin (*Cucurbita* spp.). *LWT Food Sci. Technol.* No. 4. 17-22.

9. Pumpkin food fresh Technical conditions. Introduction. (2015). GOST 7975-2013 from 01 January 2015. Moscow : Standartinform. (In Russ.).

10. Technical regulations of the Customs Union. About food safety. (2011). *TRTS No. 021/2011 from December 9, 2011*. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).

11. Public catering services. Methods of laboratory control of public catering products. Part 2. Methods of physico-chemical tests. Introduction. (2014). GOST R 54607.2-2012 from 01 2014. Moscow : Standartinform. (In Russ.).

12. Bakery products. Methods for determining acidity. Introduction. (1997). GOST 5670-96 from 01 August 1997. Moscow : Standartinform. (In Russ.).

13. Catering services. The method of organoleptic assessment of the quality of public catering products. Introduction. (2015). GOST 31986-2012 from 01 January 2015. Moscow : Standartinform. (In Russ.).

14. MUK 4.2.1847-04. Methods of control. Biological and microbiological factors. Sanitary and epidemiological assessment of the justification of shelf life and storage conditions of food products. M. : Federal Center for State Sanitary and Epidemiological Supervision of the Ministry of Health of the Russian Federation, 2004. 31 p. (In Russ.).

Information about the authors

M.A. Vaytanis - Candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department "Technology of food products Polzunov Altai State Technical University; associate Professor of the Department "Recreational geography, service, tourism and hospitality" of the Altai state University.

Z.R. Khodyreva - Candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department "Technology of food products" Polzunov Altai State Technical University; associate Professor of the Department "Recreational geography, service, tourism and hospitality" of the Altai state University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 14 ноября 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 06 мая 2024.

The article was received by the editorial board on 14 Nov 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 06 May 2024.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.657/664.66

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.012

 EDN: NODQEX

СНИЖЕНИЕ СКОРОСТИ ЧЕРСТВЕНИЯ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПШЕНИЧНОЙ МУКИ

Валерий Яковлевич Черных ¹, Марина Николаевна Костюченко ²,
Хачатур Александрович Балуйан ³, Дмитрий Олегович Сметанин ⁴,
Роман Хажсетович Кандроков ⁵

1, 2, 3, 4 ФГАНУ НИИ хлебопекарной промышленности, Москва, Россия;

¹ polybiotest@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3560-1901>

² kostyuchenkomn@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7854-3513>

³ kh.baluyan@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3011-8846>

^{4, 5} ФГБОУ ВО Российский биотехнологический университет «РОСБИОТЕХ», Москва, Россия

⁴ dimkapers35@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-7214-5574>

⁵ nart132007@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2003-2918>

Аннотация. В статье представлены результаты исследований по снижению скорости черствения хлебобулочных изделий при хранении на основе оптимизации реологических свойств пшеничного теста при его приготовлении посредством внесения рациональной дозировки солода ржаного белого неферментированного «Житница». Внесение ржаного солода в количестве 1,62 % обеспечило снижение «числа падения» с 566 с до оптимального значения, равного 235 с, что в итоге привело к снижению скорости черствения мякиша хлеба со 166 гс/сутки до 92 гс/сутки. Используемый в работе многопараметрический инструментальный контроль физико-химических характеристик пшеничной муки, теста и мякиша пшеничного хлеба позволил установить значение показателя амилограммы – максимальной вязкости клейстеризованной суспензии, равной 380 ± 10 е.АУ и показателя фаринограммы – разжижения теста, равного 75 ± 5 е.Ф., которые обуславливают оптимальную глубину гидролиза зерен крахмала при созревании теста и выпечке хлеба, что предопределяет минимальную скорость перехода аморфной структуры крахмала в кристаллическое состояние в процессе хранения хлеба и тем самым минимизируют скорость черствения его мякиша. Структурно-механические характеристики мякиша пшеничного хлеба определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 70085-22 «Изделия хлебобулочные из пшеничной хлебопекарной муки. Метод определения степени черствости». Скорость изменения показателя твердости мякиша в течение срока хранения принимают за скорость черствения мякиша.

Ключевые слова: пшеничная мука, пшеничный хлеб, ржаной неферментированный солод, углеводно-амилазный комплекс муки, реологические свойства пшеничного теста, текстура мякиша, скорость черствения.

Для цитирования: Снижение скорости черствения хлебобулочных изделий из пшеничной муки / В.Я. Черных [и др.] // Ползуновский вестник. 2024. № 2, С. 96–106. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.012. EDN: <https://elibrary.ru/NODQEX>.

Original article

REDUCING RATE OF STALING OF BAKERY PRODUCTS MADE OF WHEAT FLOUR

Valery Ya. Chernykh ¹, Marina N. Kostyuchenko ², Khachatur A. Baluyan ³,
Dmitry O. Smetanin ⁴, Roman Kh. Kondrakov ⁵

1, 2, 3, 4 State Scientific Research Institute Baking Industry, Moscow, Russia;

¹ polybiotest@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3560-1901>

² kostyuchenkomn@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7854-3513>

³ kh.baluyan@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3011-8846>

^{4, 5} Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Moscow, Russia

© Черных В. Я., Костюченко М. Н., Балуйан Х. А., Сметанин Д. О., Кандроков Р. Х., 2024

⁴ dimkapers35@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-7214-5574>

⁵ nart132007@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2003-2918>

Abstract. The scientific paper presents the results of research on reducing the staling rate of bakery products during storage by optimizing the rheological characteristics of wheat dough through the introduction of a rational dosage of white non-fermented rye malt "Zhivnitsa". The introduction of rye malt in an amount of 1.62% ensured a decrease in the "number of drops" from 566c to an optimal value equal to 235c, which eventually led to a diminish in the rate of staling of bread crumb from 166gs / day to 92gs / day. The multiparametric instrumental control of the physico-chemical characteristics of wheat flour, dough and wheat bread crumb used in the work allowed us to establish the value of the amylogram index - the pick viscosity of the gelatinized suspension equal to $380 \pm 10e.AU$ and pharynogram indicator - dilution of the dough equal to $75 \pm 5e.F.$, which determine the optimal depth of hydrolysis of starch grains during dough maturation and bread baking, which determines the minimum rate of transition of the amorphous structure of starch into a crystalline state during the storage of bread and thereby minimize the rate of staling of its crumb. The structural-mechanical characteristics of the crumb of wheat bread were determined in accordance with the requirements of GOST 70085-22 "Bakery products made from wheat flour. Method for determining the degree of staleness." The rate of change in the crumb hardness parameter during storage is considered as the staling rate of the crumb.

Keywords: wheat flour, wheat bread, rye non-fermented malt, carbohydrate-amylase complex of flour, rheological characteristics of wheat dough, crumb texture, staling rate.

For citation: Chernykh, V.Ya., Kostyuchenko, M.N., Baluyan, Kh.A., Smetanin, D.O. & Kandrov, R.H. (2024). Reducing rate of staling of bakery products made of wheat flour. Polzunovskiy vestnik, (2), 96-106. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.02.012. EDN: <https://elibrary.ru/NODQEX>.

ВВЕДЕНИЕ

При создании новых и совершенствовании существующих технологий хлебобулочных изделий особое внимание уделяется вопросам сохранения свежести готовых изделий при хранении. Потребительские свойства хлебобулочных изделий после выпечки обусловлены протеканием процесса ретроградации крахмальных зерен, т.е. переходом аморфной структуры крахмала в кристаллическое состояние. Скорость данного процесса или скорость черствения хлебобулочных изделий при их хранении может быть обусловлена автолитической активностью муки, соотношением биополимеров белков и полисахаридов, в том числе содержанием клейковины и пентозанов и их гелеобразующей способностью.

В настоящее время в хлебопекарной промышленности автолитическая активность пшеничной муки оценивается по показателю «числа падения» – условному показателю вязкости водно-мучной суспензии, отражающему глубину гидролиза крахмала собственными амилазами хлебопекарной муки. Этот биотехнологический показатель обуславливает сахарообразующую способность, от которой зависит интенсивность жизнедеятельности дрожжевых клеток и молочнокислых бактерий при созревании теста, окончательной расстойки тестовых заготовок, окрас корки готового хлеба, и влияет на глубину перехода кристаллической структуры крахмала в аморфное состояние при выпечке изделий.

Поэтому состояние структуры зерен крахмала после выпечки обуславливает скорость обратного процесса – перехода их аморфной структуры в кристаллическое состояние, т.е. скорость черствения хлебобулочных изделий при хранении.

На скорость черствения мякиша хлебобулочных изделий оказывает также влияние соотношения связанной и свободной влаги. При большем содержании связанной влаги процесс ретроградации крахмала замедляется, но при этом необходимо отметить, что содержание связанной влаги напрямую связано с содержанием и свойствами гелеобразующих биополимеров – белков и пентозанов. В промышленном хлебопечении о гелеобразующей способности белковых веществ в пшеничной муке судят по количеству и свойствам клейковины, а что касается оценки гелеобразующей способности пентозанов в ржаной муке, то она на хлебопекарных предприятиях отсутствует. В связи с тем, что черствение хлебобулочных изделий процесс многофакторный, существуют различные подходы и методы для его прямого или косвенного измерения:

1. Реологические методы:
 - обратимая и необратимая деформации;
 - вязкость суспензии.
2. Инфракрасная спектроскопия.
3. Ядерно-магнитная спектроскопия.
4. Рентгеновская кристаллография.
5. Электрическая проводимость.
6. Микроскопия.

7. Органолептический анализ.

Наиболее распространёнными методами являются органолептические и реологические исследования. Органолептический метод основан на восприятии определяемых показателей органами чувств исследователя: зрения, обоняния, слуха, осязания, вкуса. К реологическим методам исследования относят измерение реологических характеристик с использованием текстурометров и вискозиметров [6, 7, 8, 9].

Целью настоящей работы является исследование влияния состояния углеводно-амилазного комплекса хлебопекарной пшеничной муки, путём добавления ржаного белого неферментированного солода, на скорость черствения хлебоулучшителей при хранении после выпечки.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объектов исследования были выбраны: пшеничная хлебопекарная мука высшего сорта (далее – пшеничная мука), ржаной неферментированный солод (далее – ржаной солод), а также хлеб, приготовленный безопасным способом путём пробной лабораторной выпечки. Для приготовления контрольных проб хлеба (без добавления ржаного солода) и опытных проб хлеба (с добавлением ржаного солода) использовалась нормативная рецептура, включающая: пшеничную муку – 100 кг, пресованные хлебопекарные дрожжи – 2,5 кг, пищевую соль – 1,5 кг, ржаной солод (с учетом автолитической активности пшеничной муки) и воду (с учетом консистенции замешиваемого теста, соответ-

ствующей 640 е.Ф.). Физико-химические характеристики пшеничной муки, теста и мякиша хлеба определялись с использованием различных приборов. Влажность пшеничной муки измеряли с помощью прибора «АСЭШ-8-2», массовую долю влаги в тесте и мякише хлеба – влагомером «Glutork». Для определения насыпной плотности пшеничной муки использовали прибор «Волюмометр Скотта», а для измерения общей деформации клейковины – прибор «ИДК-1». Показатель «числа падения» измеряли с помощью прибора «Амилотест АТ-97 (ЧП-ТА)», а вязкость клейстеризованной суспензии – прибором «Amilograph-E». Показатели реодинамики замеса пшеничного теста определялись с использованием прибора «Farinograph-E», а именно: водопоглотительная способность муки, время замеса теста до готовности, его стабильность и разжижение. Прибор «DVM 6600» применяли для определения объема хлеба, прибор «Структурометр СТ-2» – для определения показателей текстуры – структурно-механических характеристик мякиша хлеба.

Оценку показателей текстуры мякиша хлеба проводили с использованием метода обратимой деформации в соответствии с требованиями ГОСТ Р 70085-2022 «Изделия хлебоулучшители из пшеничной хлебопекарной муки. Метод определения степени черствости» и реализованного с помощью прибора «Структурометр СТ-2» [10]. Режим работы прибора «Структурометр СТ-2» при определении показателей структурно-механических свойств мякиша хлеба с использованием метода обратимой деформации приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Алгоритм работы прибора «Структурометр СТ-2»

Table 1 - Algorithm of operation of the device "Structurometer ST-2"

1.	Перемещение индентора «Поршень Ø49» до контакта с пробой мякиша скорость движения усилие касания $F_{кас}$	0,5 мм/с 10 гс
2.	Сжатие пробы мякиша с помощью индентора «Поршень Ø49» скорость движения величина деформации $h_{общ}$ (25 % от высоты пробы мякиша).	0,5 мм/с 5 мм
3.	Реверсивное движение индентора «Поршень Ø49» скорость движения до конечного усилия $F_{кон}$	0,5 мм/с 10 гс
4.	Возврат индентора «Поршень Ø49» в базовую точку скорость движения	3 мм/с

Для оценки текстурных характеристик мякиша цилиндрической формы с известной массой и объёмом мы провели анализ динамики усилия при его сжатии на 25 % от высоты образца, а затем при обратном движении инден-

тора до достижения конечного усилия нагрузки на инденторе $F_{кон}$, которое соответствовало начальному усилию касания $F_{кас}$ [5]. Принятые условные обозначения контролируемых показателей приведены в таблице 2.

СНИЖЕНИЕ СКОРОСТИ ЧЕРСТВЕНИЯ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПШЕНИЧНОЙ МУКИ

Таблица 2 – Условные обозначения контролируемых физико-химических характеристик муки, теста и хлеба

Table 2 - Symbols of controlled physico-chemical characteristics of flour, dough and bread

Обозначение	Единицы измерения	Физико-химические характеристики муки, теста и хлеба
$W_{м.б.}$	%	массовая доля влаги базисная (15 %)
$W_{м.ф.}$	%	массовая доля влаги муки фактическая
«ЧП»	с	«число падения»
η_{max}	е.АУ	максимальная вязкость клейстеризованной мучной суспензии
ВПС	%	водопоглотительная способность муки
ρ_m	г/см ³	насыпная плотность муки
$G_{кл}$	%	количество клейковины
$h_{общ}$	е.ИДК	общая деформация клейковины
A	е.Ф.	консистенция теста
B	мин	время замеса теста до готовности
C	мин	стабильность теста
E	е.Ф.	разжижение теста
F_l	гс(Н)	усилие нагружения
F_h	гс(Н)	твёрдость мякиша
I_h	гс(Н)/[(г/см ³)·%]	индекс твёрдости
$V_{ч}$	гс(Н)/сутки	скорость черствения
$V_{хл}$	см ³	объем хлеба
$V_{уд}$	см ³ /г	удельный объем хлеба
$\square_{хр}$	сутки	продолжительность хранения хлеба
$W_{мяк}$	%	влажность мякиша хлеба
$G_{уп}$	%	технологические затраты в процессе выпечки хлеба
$G_{ус}$	%	технологические затраты при охлаждении и усушке хлеба
$\Gamma_{мяк}$	%	пористость мякиша
$\rho_{мяк}$	г/см ³	плотность мякиша
E_I	кПа	модуль упругости межпоровых стенок мякиша
E_{II}	кПа	модуль упругости пористой структуры мякиша
$A_{общ}$	Дж/г	общее количество удельной механической энергии, используемое при проведении операции сжатия мякиша
$A_{упр}$	Дж/г	количество удельной механической энергии, используемое на преодоление упругости мякиша
$A_{пл}$	Дж/г	количество удельной механической энергии, приводящее к изменению структуры мякиша за счет пластической деформации

Характеристика объектов исследования: Физико-химические характеристики (ФХХ) пшеничной муки приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Показатели физико-химических свойств пшеничной муки

Table 3 - Indicators of physico-chemical properties of wheat flour

ФХХ муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта									
$W_{м.ф.}$, %	ρ_m , кг/м ³	$G_{кл}$, %	$h_{общ}$, е.ИДК	ЧП, с	η_{max} е.АУ	ВПС, %	B, мин	C, мин	E, е.Ф.
13,2	447	28,3	73	566	1450	55,9	2,3	18,09	31

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ АНАЛИЗ

На рисунке 1 приведены графики изменения «числа падения» и максимальной вяз-

кости клейстеризованной водно-мучной суспензии в зависимости от количества ржаного солода, которое варьируется от 0 до 3 %, с шагом 0,5 %.

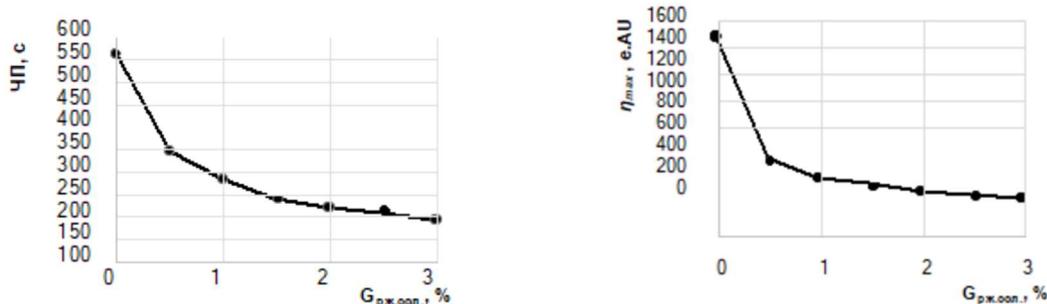


Рисунок 1 – Влияние дозировки ржаного солода на изменение «числа падения» (а) и максимальной вязкости (б) клейстеризованной водно-мучной суспензии пшеничной муки

Figure 1 - The effect of rye malt dosage on the change in the "drop number" (a) and the maximum vis-cosity (b) of gelatinized water-flour suspension of wheat flour

Из рисунка 1 видно, что «число падения» и вязкость клейстера изменяется по показательному закону и между ними существует зависимость. Уравнение, отражающее эту зависимость при коэффициенте корреляции 0,983, имеет следующий тип:

$$\eta_{\max} = 116,1 \times e^{(x \times 44,67 \times 10^{-4})},$$

где η_{\max} – максимальная вязкость, клейстеризованной суспензии, определённая с помощью амилографа, е.АУ; x – «число падения», с. Графически эта зависимость отражена на рисунке 2.

По данным кафедры зерна, хлебопекарных и кондитерских технологий Российского биотехнологического университета, оптимальная автолитическая активность пшеничной хлебопекарной муки высшего сорта, позволяющая получать хлеб наилучшего качества, соответствует «числу падения» – 235 ± 15 с [1, 2, 3, 4]. Поэтому на основании анализа рисунка 2 – зависимость между «ЧП» и « η_{\max} » было установлено оптимальное значение автолитической активности пшеничной муки, оцениваемой по максимальной вязкости « η_{\max} » клейстеризованной суспензии, контролируемой с помощью прибора «Amilograph – Е», равной 380 ± 10 е.АУ.

Затем, проведя оценку результатов, представленных на графиках (рис. 1), была установлена рациональная дозировка ржаного солода, равная 1,62 %, соответствующая

«числу падения» 235 с и максимальной вязкости 380 е.АУ.

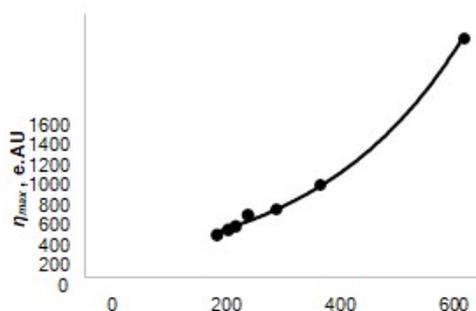


Рисунок 2 – Зависимость между показателями автолитической активности пшеничной муки: «числом падения» и максимальной вязкостью клейстеризованной суспензии

Figure 2 - The dependent between the indicators of autolytic activity of wheat flour: the "number of drops" and the maximum viscosity of the gelatinized suspension

Для оценки реологического поведения пшеничного теста при замесе были получены фаринограммы с консистенцией 500 е.Ф. (рис. 3) без внесения – контроль и с внесением 1,62 % ржаного солода – опыт.

Показатели реологического поведения пшеничного теста при замесе с добавлением ржаного солода и без него приведены в таблице 4.

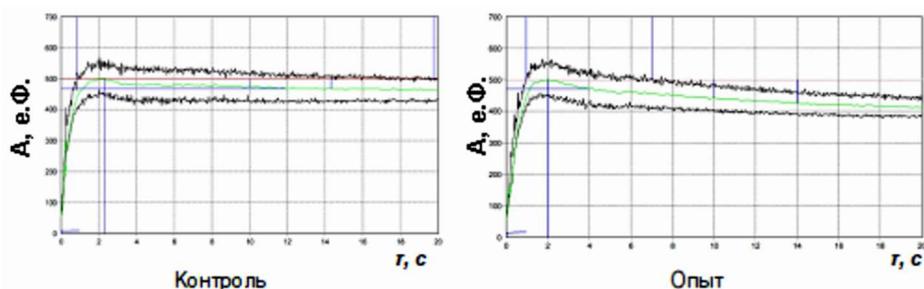


Рисунок 3 – Реодинамика замеса пшеничного теста с консистенцией 500 е.Ф.

Figure 3 - Rheodynamics of kneading wheat dough with a consistency of 500 е.Ф.

СНИЖЕНИЕ СКОРОСТИ ЧЕРСТВЕНИЯ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПШЕНИЧНОЙ МУКИ

Таблица 4 – Показатели фаринограммы пшеничного теста
Table 4 - Indicators of the pharynogram of wheat dough

№ п/п	Наименование проб пшеничного теста	Показатели фаринограммы (500е.Ф.)				
		W _{м.ф.} , %	ВПС, %	В, мин	С, мин	Е, е.Ф.
1	Контроль: без ржаного солода	13,2	55,9	2,3	18,9	31
2	Опыт: с ржаным солодом (1,62 %)	13,2	55,9	2,0	6,1	74

Из рисунка 3 и таблицы 4 видно, что добавление ржаного солода не оказало влияния на изменение водопоглотительной способности муки (ВПС). Однако это привело к сокращению времени замеса теста на 12 %. Стабильность теста уменьшилась в 3 раза, а разжижение увеличилась почти в 2,5 раза и может быть принято за оптимальное значе-

ние, равное 70 ± 5 е.Ф. Оно берётся за критическую точку при оценке технологических свойств пшеничной муки. При проведении пробной лабораторной выпечки хлеба замес рецептурного теста осуществляли с консистенцией 640 е.Ф. (рис. 4). Показатели фаринограмм контрольной и опытных проб теста приведены в таблице 3.

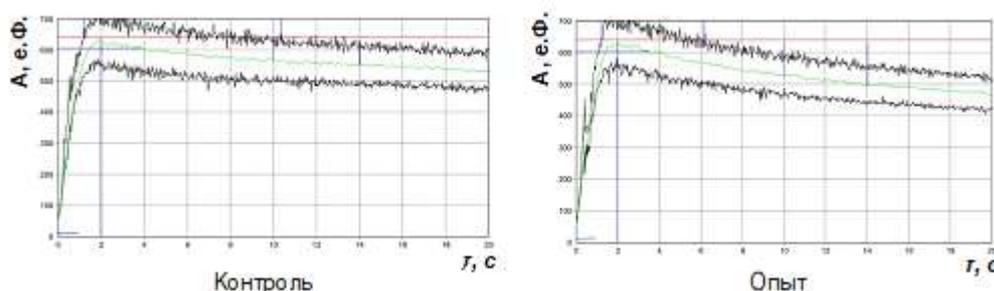


Рисунок 4 – Реодинамика замеса пшеничного теста с консистенцией 640 е.Ф.

Figure 4 - Rheodynamics of kneading wheat dough with a consistency of 640 e.F.

Таблица 5 – Физико-химическая характеристика пшеничного теста

Table 5 - Physico-chemical characteristics of wheat dough

№ п/п	Наименование проб пшеничного теста	Показатели фаринограммы (640 е.Ф.)					
		W _{м.ф.} , %	ВПС, %	В, мин	С, мин	Е, е.Ф.	W _{т.} , %
1	Контроль: без ржаного солода	11,0	49,4	2,0	9,2	82	43,2
2	Опыт: с ржаным солодом (1,62 %)	11,0	50,0	2,0	4,9	134	43,1

Из рисунка 4 и таблицы 3 видно, что продолжительность замеса теста до готовности у контрольной и опытной проб теста одинаковая и составляет 2 мин. Это обусловлено участием продуктов гидролиза крахмала в формировании структуры теста и связывании ими определенного количества воды, так как водопоглотительная способность опытной пробы теста при одинаковой консистенции с контрольной пробой выше на 0,6 %. Стабильность теста за счет ферментативного гидролиза зерен крахмала уменьшилась на 47 %, что обусловлено изменением соотношения упругой и пластической деформации в сторону последней, что обеспечивает при протекании процесса брожения получение более эластичных межпоровых стенок и микрокапилляров, способных увеличиваться в размерах и обеспечивать повышение газодерживающей способности полуфабриката,

что впоследствии приводит к увеличению пористости готовых изделий.

Во время проведения пробной лабораторной выпечки пшеничного хлеба тесто готовили безопарным способом. Замешивание теста осуществляли в тестомесильной машине Diosna SP80D: на первой скорости до равномерного распределения всех компонентов, на второй скорости до развития клейковинного каркаса. Созревание теста, окончательная расстойка тестовых заготовок и выпечка хлеба проходили на оборудовании Miwe Condo. Созревание теста длилось 150 минут при температуре 30 °С, обеспечивая оптимальные условия для жизнедеятельности дрожжей и молочнокислых бактерий. Окончательная расстойка тестовых заготовок продолжалась 60 минут при температуре 37–38 °С и относительной влажности 75–80 %, что способствовало максимальному увеличению

объёма тестовых заготовок. Хлеб выпекали при температуре 225 °С в течение 25 минут с использованием парувлажнения, до достижения температуры в центре мякиша, равной 97 °С.

На рисунке 5 представлены пробы хлеба без ржаного солода и с его добавлением, а

также прибор DVM 6600 (Perten Instruments, Швеция), который с помощью направленного луча лазера определяет высоту, длину, ширину и объём готового изделия и создаёт трехмерное изображение хлеба.

В таблице 6 приведены физико-химические характеристики пшеничного хлеба.

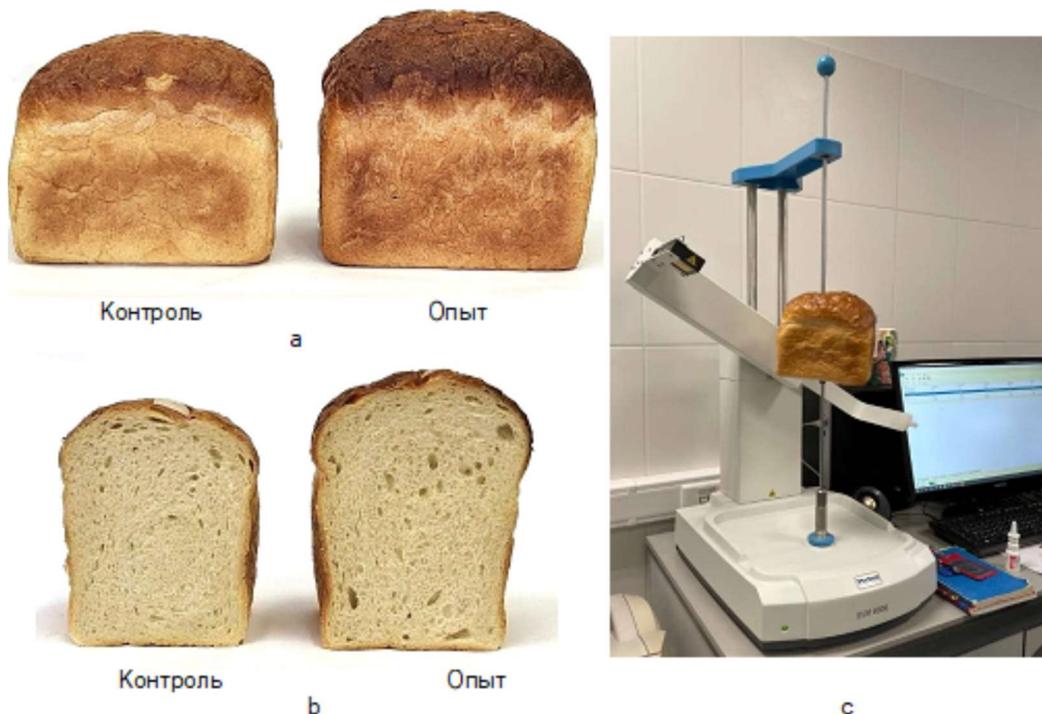


Рисунок 5 – Фотографии хлеба (а) и в разрезе (б) (контроль – без добавления ржаного солода; опыт – с добавлением ржаного солода); лазерный объёмометр (с)

Figure 5 - Appearance of whole bread (a) and cut (b) (control - without adding rye malt; experiment - with the addition of rye malt); laser volume meter (c)

Таблица 6 – Физико-химические характеристики контрольного и опытного хлебов

Table 6 - Physico-chemical characteristics of the control and experimental loaves

№ п/п	Наименование проб пшеничного хлеба	Физико-химические характеристики пшеничного хлеба						
		$G_{уп}, \%$	$G_{ус}, \%$	$W_{мяк}, \%$	$\rho_{мяк}, \text{г/см}^3$	$V_{хл}, \text{см}^3$	$V_{уд}, \text{см}^3/\text{г}$	$P_{мяк}, \%$
1	Контроль: без ржаного солода	11,1	2,44	42,8	0,232	1902	3,78	82
2	Опыт: с ржаным солодом (1,62%)	12,3	2,47	42,3	0,171	2260	4,51	87

Из данных таблицы 6 следует, что удельный объём хлеба с добавлением ржаного солода в опытной пробе увеличился на 19 % по сравнению с контрольной пробой. При этом упёк оказалась меньше у контрольной пробы на 1 %. Кроме того, пористость мякиша контрольной пробы пшеничного хле-

ба увеличилась на 5 % в сравнении с хлебом, содержащим ржаной солод. На рисунке 6 приведены кривые изменения усилия (F1) нагружения при сжатии цилиндрической пробы мякиша на 5 мм для хлеба контрольного и опытного с разной продолжительностью хранения после выпечки – 12; 36; 60; 84 и 108 ч.

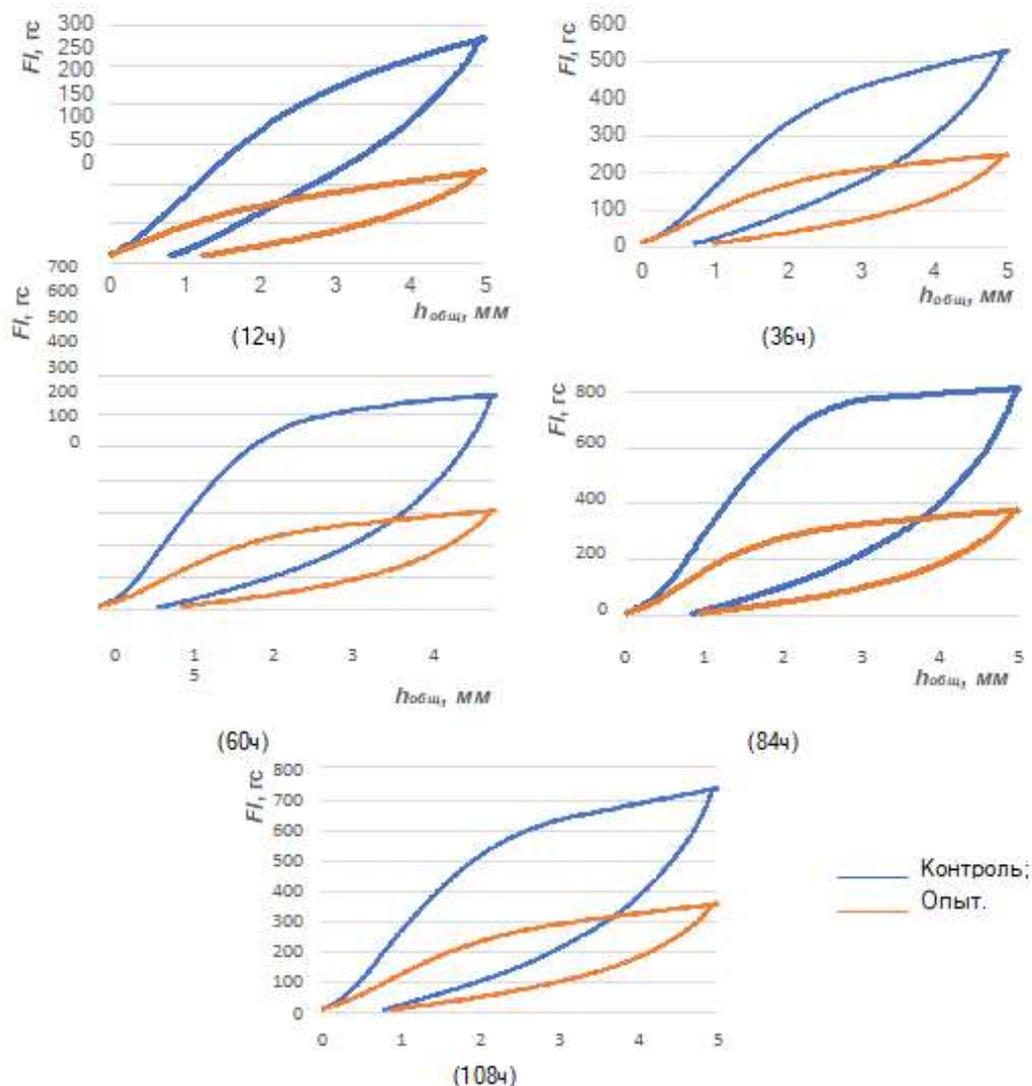


Рисунок 6 – Кинетика усилия нагружения на инденторе «Поршень Ø49» при сжатии мякиша хлеба с разной продолжительностью хранения после выпечки: 12; 36; 60; 84 и 108 ч

Figure 6 - The kinetics of the loading force on the indenter "Piston Ø49" when compressing bread crumb with different storage duration after baking: 12; 36; 60; 84 and 108h

На рисунке 6 видна существенная разница в реологическом поведении мякиша при определении его твердости с использованием метода обратимой деформации, при этом значение твердости (Fh) контрольных проб мякиша в процессе хранения в 2–3 раза выше, чем опытных проб хлеба.

В таблице 7 приведены физико-химические характеристики мякиша контрольных и опытных образцов хлеба при их хранении в течение 108 ч.

Из данных таблицы 6 видно, что индекс твердости мякиша хлеба (Ih) для контрольной

пробы, не содержащей ржаной солод, изменялся от 21 до 59 гс/[(г/см³) × %] за период трёх суток хранения. В то же время для опытной пробы с добавлением ржаного солода индекс твердости был значительно ниже, изменяясь в пределах от 12 до 37 гс/[(г/см³) × %].

На рисунке 7 представлена динамика изменения показателей твердости (Fh) и индекса твердости (Ih) мякиша хлеба как для контрольных, так и для опытных проб в течение 108 часов после выпечки.

Таблица 7 – Физико-химические характеристики мякиша хлеба

Table 7 - Physico-chemical characteristics of bread crumb

Вид изделия	ФХХ мякиша	Значения ФХХ мякиша хлеба с разной продолжительностью хранения, ч				
		12	36	60	84	108
Контрольная проба хлеба	$\rho_m, \text{г/см}^3$	0,232	0,236	0,222	0,236	0,248
	$P_{\text{мяк}}, \%$	82	82	83	82	81
	$W_m, \%$	42,8	42,2	41,9	41,4	42,0
	$F_h, \text{гс}$	283	526	656	812	739
	$F_h, \text{Н}$	2,78	5,17	6,43	7,96	7,25
	$I_h, \text{гс}[(\text{г/см}^3) \times \%]$	21	39	51	59	51
	$I_h, \text{Н}[(\text{г/см}^3) \times \%]$	0,21	0,38	0,50	0,58	0,50
	$E', \text{кПа}$	13,87	18,69	21,77	23,82	32,18
	$E'', \text{кПа}$	4,05	8,29	15,03	0,77	9,63
	$A_{\text{общ}}, \text{Дж/г} \times \text{Е-3}$	1,97	3,76	4,6	6,65	5,4
	$A_{\text{пл}}, \text{Дж/г} \times \text{Е-3}$	0,87	1,94	2,85	4,18	3,22
	$A_{\text{упр}}, \text{Дж/г} \times \text{Е-3}$	1,11	1,82	1,75	2,406	2,08
	$V_c, \text{гс/сутки}$	166				
Опытная проба хлеба	$\rho_m, \text{г/см}^3$	0,171	0,170	0,180	0,181	0,190
	$P_{\text{мяк}}, \%$	87	87	86	86	86
	$W_m, \%$	42,3	43,0	42,7	42,8	42,8
	$F_h, \text{гс}$	117	248	306	377	358
	$F_h, \text{Н}$	1,15	2,44	3,00	3,69	3,51
	$I_h, \text{гс}[(\text{г/см}^3) \times \%]$	12	26	30	37	33
	$I_h, \text{Н}[(\text{г/см}^3) \times \%]$	0,12	0,25	0,29	0,36	0,32
	$E', \text{кПа}$	6,74	13,87	16,38	23,51	12,90
	$E'', \text{кПа}$	4,24	2,12	5,20	5,20	0,77
	$A_{\text{общ}}, \text{Дж/г} \times \text{Е-3}$	1,26	2,64	2,90	3,79	2,38
	$A_{\text{пл}}, \text{Дж/г} \times \text{Е-3}$	0,64	1,58	1,81	2,34	1,34
	$A_{\text{упр}}, \text{Дж/г} \times \text{Е-3}$	0,62	1,06	1,09	1,45	1,04
	$V_c, \text{гс/сутки}$	92				

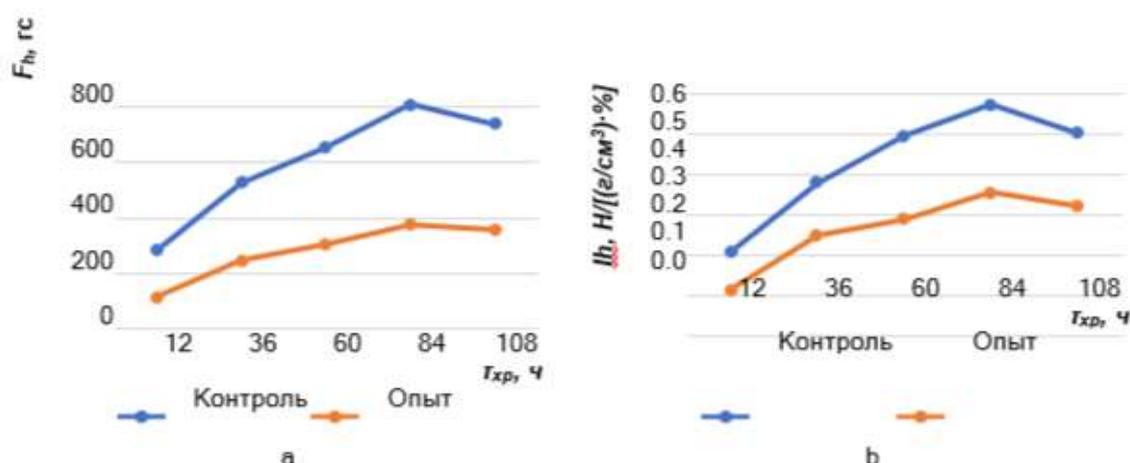


Рисунок 7 – Влияние продолжительности хранения на изменение показателей твердости (а) и индекса твердости (б) мякиша в контрольных и опытных пробах хлеба в течение 108 часов

Figure 7 - Influence of the duration of storage of control and experimental samples of bread on the change in hardness (a) and hardness index (b) of the crumb during the storage of bread for 108h

Анализ данных, приведённых в таблице 7 и на рисунке 7, позволил установить

различия в скорости черствения мякиша между контрольной и опытной пробами. Для

контрольной пробы хлеба скорость черствения составила 166 гс/сутки, в то время как для опытной пробы она была значительно ниже, составляя 92 гс/сутки. На рисунке 7 эта разница в скорости черствения между контрольными и опытными пробами хлеба представлена наглядно. Добавление ржаного солода в рецептуру хлеба способствовало значительному замедлению процесса черствения мякиша, что приводит к увеличению срока хранения готовых изделий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенные исследования демонстрируют методический подход по оптимизации состояния углеводно-амилазного комплекса муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта посредством внесения солода ржаного неферментированного, обеспечивающего замедление скорости черствения хлеба при хранении. На основании проведенных исследований были сделаны следующие выводы:

- установлена взаимосвязь между условными реологическими показателями клейстеризованной суспензии пшеничной муки, такими как "число падения" и максимальная вязкость (η_{max}), измеряемыми с помощью приборов "Амилотест АТ-97 (ЧП-ТА)" и "Амилограф-Е" соответственно, отражающими состояние её углеводно-амилазного комплекса

- установлено, что изменение дозировки ржаного неферментированного солода в диапазоне от 0 до 3,0 % с шагом 0,5 % влияет на эти показатели: "число падения" изменялось от 566 до 197 с., а максимальная вязкость клейстеризованной суспензии снижалась от 1450 до 250 е.АУ.

- установлены значения показателя амилограммы – максимальной вязкости клейстеризованной суспензии (380 ± 10 е.АУ), и показателя фаринограммы – разжижения теста (75 ± 5 е.Ф.), дополнительно к показателю "числа падения" (235 ± 15 с.), которые обуславливают оптимальное состояние углеводно-амилазного комплекса пшеничной муки.

- установлена оптимальная дозировка ржаного неферментированного солода, равная 1,62 % и соответствующая «числу падения» 235 ± 15 с и максимальной вязкости 380 ± 10 е.АУ;

- внесение оптимальной дозировки солода ржаного неферментированного (1,62 %) привело к увеличению удельного объема хлеба на 19,3 % – с 3,78 до 4,51 см³;

- установлена динамика индекса твердости мякиша хлеба (с добавлением и без добавления ржаного солода) в процессе хранения;

- показано, что внесение ржаного неферментированного солода «Житница» в количестве 1,62 % привело к замедлению скорости черствения мякиша хлеба при хранении со 166 до 92 гс/сутки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черных В.Я., Ширшиков М.А., Белоусова Е.М., Лущик Т.В. Информационно-измерительная система для оценки хлебопекарных свойств муки. Хлебопродукты. № 8. 2000. С. 21–25.
2. Черных В.Я., Ширшиков М.А. Технологические критерии оценки состояния углеводно-амилазного комплекса пшеничной муки (начало). Хлебопродукты, № 12, 2001. С. 22–25.
3. Черных В.Я., Ширшиков М.А. Технологические критерии оценки состояния углеводно-амилазного комплекса пшеничной муки (окончание). Хлебопродукты, № 1, 2002. С. 21–24.
4. Черных В.Я., Иванов В.С. Регулирование сахарообразующей способности хлебопекарной муки. Монография. М.: ООО «Буки Веди», 2019. 144 с.
5. Черных В.Я. Влияние продолжительности хранения хлебобулочных изделий на показатели твердости и эластичности мякиша / В.Я. Черных, В.В. Кононенко, А.С. Максимов // Хлебопечение России. 2020. № 2. С. 19–27. DOI 10.37443/2073-3569-2020-1-2-19-27.
6. Sluková M., Kubín M., Horáčková Š. & Příhoda J. (2015). Application of amylographic method for determination of the staling of bakery products. Czech Journal of Food Sciences, 33(6), 507–512. <https://doi.org/10.17221/184/2015-CJFS>.
7. Karim A.A., Norziah M.H. & Seow C.C. (2000). Methods for the study of starch retrogradation. Food Chemistry, 71(1), 9–36. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00130-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00130-8).
8. Haghghat-Kharazi S., Reza Kasaei M., Milani J.M. & Khajeh K. (2020). Antistaling properties of encapsulated maltogenic amylase in gluten-free bread. Food Science and Nutrition, 8(11), 5888–5897. <https://doi.org/10.1002/FSN3.1865>.
9. Gray J.A. & Bemiller J.N. (2003). Bread staling: Molecular basis and control. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2(1), 1–21. <https://doi.org/10.1111/J.1541-4337.2003.TB00011.X>.
10. ГОСТ Р 70085-2022. Изделия хлебобулочные из пшеничной хлебопекарной муки. Метод определения степени черствости. Утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 04.05.22. № 264 Ст. Москва: Российский институт стандартизации.

Информация об авторах

В. Я. Черных – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности.

М. Н. Костюченко – кандидат технических наук, доцент, директор Федерального государственного бюджетного научного учреждения Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности.

Х. А. Балуйан – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности.

Д. О. Сметанин – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), младший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности.

Р. Х. Кандроков – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Зерна, хлебопекарных и кондитерских технологий» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ).

REFERENCES

1. Chernykh, V.Ya., Shirshikov, M.A., Belousova, E.M. & Luschik, T.V. (2000). Information and measurement system for assessing the baking properties of flour. Bread products. (8). 21-25. (In Russ.).
2. Chernykh, V.Ya. & Shirshikov, M.A. (2001). Technological criteria for assessing the state of the carbohydrate-amylase complex of wheat flour (beginning). Bread products. (12), 22-25. (In Russ.).
3. Chernykh, V.Ya. & Shirshikov, M.A. (2002). Technological criteria for assessing the state of the carbohydrate-amylase complex of wheat flour (end). Bread products. (1). 21-24. (In Russ.).
4. Chernykh, V.Ya. & Ivanov, V.S. (2019). Regulation of sugar-forming ability of baking flour. Monograph, M.: LLC "Buki Vedi", 144s. (In Russ.).
5. Chernykh, V.Ya., Kononenko, V.V. & Maksimov, A.S. (2020). The influence of the shelf life of bakery products on the hardness and elasticity of the

crumb. Bakery of Russia. (2). 19-27. DOI 10.37443/2073-3569-2020-1-2-19-27. (In Russ.).

6. Sluková, M., Kubín, M., Horáčková, Š. & Příhoda, J. (2015). Application of amylographic method for determination of the staling of bakery products. Czech Journal of Food Sciences, 33(6), 507-512. <https://doi.org/10.17221/184/2015-CJFS>.

7. Karim, A.A., Norziah, M.H. & Seow, C.C. (2000). Methods for the study of starch retrogradation. Food Chemistry, 71(1), 9-36. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00130-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00130-8).

8. Haghghat-Kharazi, S., Reza Kasaii, M., Milani, J.M. & Khajeh, K. (2020). Antistaling properties of encapsulated maltogenic amylase in gluten-free bread. Food Science and Nutrition, 8(11), 5888-5897. <https://doi.org/10.1002/FSN3.1865>.

9. Gray, J.A. & Bemiller, J.N. (2003). Bread staling: Molecular basis and control. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2(1), 1-21.

10. HOST R 70085-2022. (2022). Bakery products made of wheat baking flour. Method for determining the degree of callousness. Moscow: Russian Institute of Standardization.

Information about the authors

V.Ya. Chernykh - Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of the State Scientific Research Institute Baking Industry.

M.N. Kostyuchenko - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Director of the State Scientific Research Institute Baking Industry.

Kh.A. Baluyan - Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the State Scientific Research Institute Baking Industry.

D.O. Smetanin - PhD student of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Russian Biotechnological University (BIOTECH University); Junior Researcher at the State Scientific Research Institute Baking Industry.

R.Kh. Kandrov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Grain, Bakery and Confectionery Technologies of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Russian Biotechnological University (BIOTECH University).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 17 июля 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 06 мая 2024.

The article was received by the editorial board on 17 July 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 06 May 2024.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.1, 51-7

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.013



ОПТИМИЗАЦИЯ ДОЗИРОВОК ВИНОГРАДНЫХ ВЫЖИМОК ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Елизавета Сергеевна Семиряжко ¹, Татьяна Викторовна Першакова ²,
Елена Александровна Иванова ³, Сергей Михайлович Горлов ⁴

^{1, 2} Краснодарский научно-исследовательский институт хранения и переработки сельскохозяйственной продукции – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», Краснодар, Россия

¹ e.glazacheva@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2750-5749>

² 7999997@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8528-0966>

^{3, 4} Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, г. Краснодар, Россия

³ elena_is_kubagro@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6127-7762>

⁴ gorlov76@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0910-3084>

Аннотация. Разработка функциональных кондитерских изделий, обеспечивающих потребность населения в биологически активных веществах, полученных из продуктов переработки растительного сырья – актуальная задача. Целью исследования являлась оптимизация дозировок виноградных выжимок при приготовлении фруктовой массы для дальнейшего проектирования рецептуры яблочной пастилы с заданными функциональными свойствами. Предметом исследования являлось изучение влияния температуры фруктовой массы и дозировки виноградных выжимок на органолептические показатели пастилы – вкус, цвет, запах, форму, консистенцию, поверхность. В ходе работы были получены математические модели, позволяющие оптимизировать дозировки виноградных выжимок при производстве пастилы яблочной. Для подтверждения достоверности представленной оценки был использован метод аппроксимации функции нескольких независимых переменных. В результате работы установлено, что оптимальным содержанием виноградных выжимок в пастиле яблочной является 3,0 % от общей массы, вносимой при температуре фруктовой массы 45 °С. Полученный результат можно использовать для проектирования рецептуры пастилы яблочной с добавлением виноградных выжимок.

Ключевые слова: пастила яблочная, виноградные выжимки, оптимизация, математическая обработка, Microsoft Excel.

Для цитирования: Оптимизация дозировок виноградных выжимок при производстве кондитерских изделий / Е. С. Семиряжко [и др.] // Ползуновский вестник. 2024. № 2, С. 107–112. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.013. EDN: <https://elibrary.ru/PGXARB>.

Original article

OPTIMIZATION OF GRAPE POMACE DOSAGES IN CONFECTIONERY PRODUCTION

Elizaveta S. Semiryazhko ¹, Tatiana V. Pershakova ²,
Elena A. Ivanova ³, Sergey M. Gorlov ⁴

^{1, 2} Krasnodar Research Institute of Storage and Processing of Agricultural Products - branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution «North Caucasus Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking» Krasnodar, Russia

¹ e.glazacheva@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2750-5749>

² 7999997@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8528-0966>

© Семиряжко Е. С., Першакова Т. В., Иванова Е. А., Горлов С. М., 2024

^{3,4} Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin», Krasnodar, Russia

³ elena_is_kubagro@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6127-7762>

⁴ gorlov76@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0910-3084>

Abstract. *The development of functional confectionery products, providing the population's need for biologically active substances derived from the products of vegetable raw materials processing is an urgent task. The aim of the study was to optimize the dosage of grape pomace in the preparation of fruit mass for further design of apple pastilla recipe with specified functional properties. The subject of the research was the study of the influence of fruit mass temperature and dosage of grape pomace on organoleptic parameters of pastilla - taste, color, smell, shape, consistency, surface. In the course of work mathematical models were obtained, allowing to optimize the dosage of grape pomace in the production of apple pastilla. The method of approximation of the function of several independent variables was used to confirm the validity of the presented estimation. As a result of the work, it was found that the optimal content of grape pomace in apple pastilla is 3.0 % of the total mass, introduced at the temperature of fruit mass 45°C. The obtained result can be used to design the recipe of apple pastilla with the addition of grape pomace.*

Keywords: *apple pastille, grape pomace, optimization, mathematical processing, Microsoft Excel.*

For citation: Semiryazhko, E.S., Pershakova, T.V., Ivanova, E.A. & Gorlov, S.M. (2024). Optimization of grape pomace dosages in confectionery production. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 107-112. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.02.013. EDN: <https://PGXARB>.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время повышается интерес населения к аспектам укрепления здоровья, выражающийся в применении новых пищевых компонентов, которые улучшали бы биологическую ценность продуктов питания и в то же время не приводили бы к ухудшению их вкусовых свойств. Многочисленные исследования [1–5] показывают, что оздоровительные свойства функциональных продуктов обусловлены содержанием биологически активных веществ, таких как полифенолы, пищевые волокна, витамины, пробиотики, пребиотики, жирные кислоты и минералы. Среди функциональных продуктов питания также выделяют кондитерские изделия функциональной направленности. Так, чаще всего в качестве носителя функциональных ингредиентов выбирают мучные кондитерские изделия (печенья, крекеры), а также из числа сахаристых кондитерских изделий – шоколад, пастилу и мармелад [4–7].

В Краснодарском крае сбор урожая винограда за последние годы достигает до 890,0 тыс. т. [8]. Выжимки винограда, которые являются основными отходами при переработке винограда, являются высокопитательными компонентами, которые могут повторно перерабатываться и использоваться в качестве рецептурных компонентов при создании новых пищевых продуктов.

Таким образом, актуальным является разработка функциональных кондитерских изделий, обеспечивающих потребность населения в биологически активных веществах, полученных из продуктов переработки растительного сырья.

Исходя из вышесказанного, целью исследования являлось оптимизация дозировок виноградных выжимок при приготовлении фруктовой массы для дальнейшего проектирования рецептуры яблочной пастилы с заданными функциональными свойствами.

МЕТОДЫ

Объекты исследования – образцы пастилы. При проведении эксперимента за основу брали классическую рецептуру клеевой пастилы [9].

Для приготовления образцов пастилы яблоки запекали и протирали до получения гомогенизированного пюре с содержанием сухих веществ не более 14 %. Отдельно подготавливали порошок из виноградных выжимок путем их сушки, просеивания, измельчения и контрольного просеивания для удаления крупных частиц. Затем при сбивании яблочного пюре добавляли порошок из виноградных выжимок и тщательно перемешивали, выстаивали при температуре 20–25 °С в течение 15 минут, равномерно распределяли на пергаменте, подсушивали 160–180 минут при температуре 55–60 °С.

Для проведения исследования добавляли различные дозировки виноградных выжимок от 1 до 9 % к общей массе с «шагом» в 0,5 %, варьируя температуру в интервале 30–50 °С.

Предмет исследования – влияние дозировки выжимок и температуры массы на вкус, цвет, запах, форму, консистенцию, состояние поверхности.

Органолептические показатели готовых изделий определяли согласно ГОСТ 6441-2014 и ГОСТ 5897-90 [10, 11].

Органолептическая оценка проводилась

ОПТИМИЗАЦИЯ ДОЗИРОВОК ВИНОГРАДНЫХ ВЫЖИМОК ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

семью экспертами, которым было предложено по два исследуемых образца для оценки. Эксперимент производился по принципу «вслепую». То есть информация о том, какой именно образец под каким номером зашифрован, была экспертам недоступна. При этом общий порядок оценивания образцов был фиксирован для каждого критерия.

На начальном этапе проводилась визуальная оценка образцов, далее обонятельный анализ на предмет запаха изделия и, наконец, анализ вкусовых характеристик.

В ходе проведения эксперимента каждым испытателем заполнялась анкета, в которой для каждого критерия каждого образца проставлялась балльная оценка, характеризующая степень его соответствия эталонному значению. Шкала измерения составляла от 1 до 5 баллов, где 1 балл означал полное несоответствие эталону, а 5 баллов – абсолютную идентичность эталону.

После проставления оценок экспертами были рассчитаны общие баллы по каждому критерию, а затем итоговый показатель с учетом веса (значимости) каждого критерия.

В перечень дескрипторов для изделий вошли 6 показателей, каждому из которых были присвоены коэффициенты значимости: вкус – 0,2; цвет – 0,2; запах – 0,15; форма – 0,1; консистенция – 0,2; поверхность – 0,15. Итоговая оценка в баллах Y рассчитывалась по следующей формуле:

$$Y = \sum_{i=1}^m w_i \frac{\sum_{j=1}^n y_{ij}}{n},$$

где: m – количество показателей;

n – количество экспертов;

w_i – коэффициент значимости i -го показателя;

y_{ij} – балльная оценка j -го эксперта по i -му показателю.

Для подтверждения достоверности полученных данных были применены следующие статистические методы:

- множественная регрессия. Использовалась для получения уравнений зависимости органолептических показателей от исходных переменных;

- расчет коэффициента детерминации. Он необходим для подтверждения достоверности уравнений;

- t -статистики. С их помощью выявляется значимость и полезность входных переменных для полученных уравнений;

- F -критерий Фишера. Нужен для оценки достоверности полученного коэффициента детерминации.

В качестве инструментального средства расчетов был использован пакет Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для обеспечения наглядности расчетных данных были построены поверхности, отражающие зависимость выходных органолептических показателей пастилы яблочной, оцененных экспертами, от следующих переменных: температура фруктовой массы и содержание виноградных выжимок. Результаты представлены на рисунке 1.

ОБСУЖДЕНИЕ

Для определения зависимостей органолептических показателей от дозировки выжимок и температуры применялась аппроксимация функции нескольких переменных.

Пусть x_1, x_2, \dots, x_n – аргументы функции, наиболее сильно влияющие на результат – значения функции y , где:

- x_1 – дозировка выжимок (%);
- x_2 – размер частиц, мм;
- x_3 – температура, °С.

Для проведения расчетов были использованы экспертные оценки органолептической оценки готовой пастилы яблочной.

После применения процедуры аппроксимации функции для каждого набора экспериментальных данных были получены уравнения зависимостей $y_i(x_1, x_2, x_3)$ для каждого результирующего показателя y_i . Эти уравнения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты аппроксимации функции

Table 1 - Function approximation results

Показатель	Уравнение кривой
Вкус	$y_1(x_1, x_2, x_3) = 5,438953 - 0,16293x_1 - 0,622093x_2 + 0,001764706x_3$
Цвет	$y_2(x_1, x_2, x_3) = 4,359384 + 0,942257x_1 - 2,5953488x_2 - 0,005294118x_3$
Запах	$y_3(x_1, x_2, x_3) = 3,168023 + 1,966758x_1 - 4,5639535x_2 - 0,001176471x_3$
Форма	$y_4(x_1, x_2, x_3) = 4,733618 + 0,712517x_1 - 2,2151163x_2 - 0,000464762x_3$
Консистенция	$y_5(x_1, x_2, x_3) = 5,839877 - 1,00692x_1 + 1,22093023x_2 - 0,000588235x_3$
Поверхность	$y_6(x_1, x_2, x_3) = 5,849193 - 0,28312x_1 - 0,3627907x_2 - 0,003529412x_3$
Итоговый показатель	$y_7(x_1, x_2, x_3) = 29,57014 + 2,063885x_1 - 8,9244186x_2 - 0,011176471x_3$

В качестве выходных переменных U_1, U_2, \dots, U_7 рассматривались оценки органолептических показателей: вкус, цвет, запах, форма, консистенция, поверхность и итоговый показатель.

На следующем этапе подтверждали достоверность полученных закономерностей.

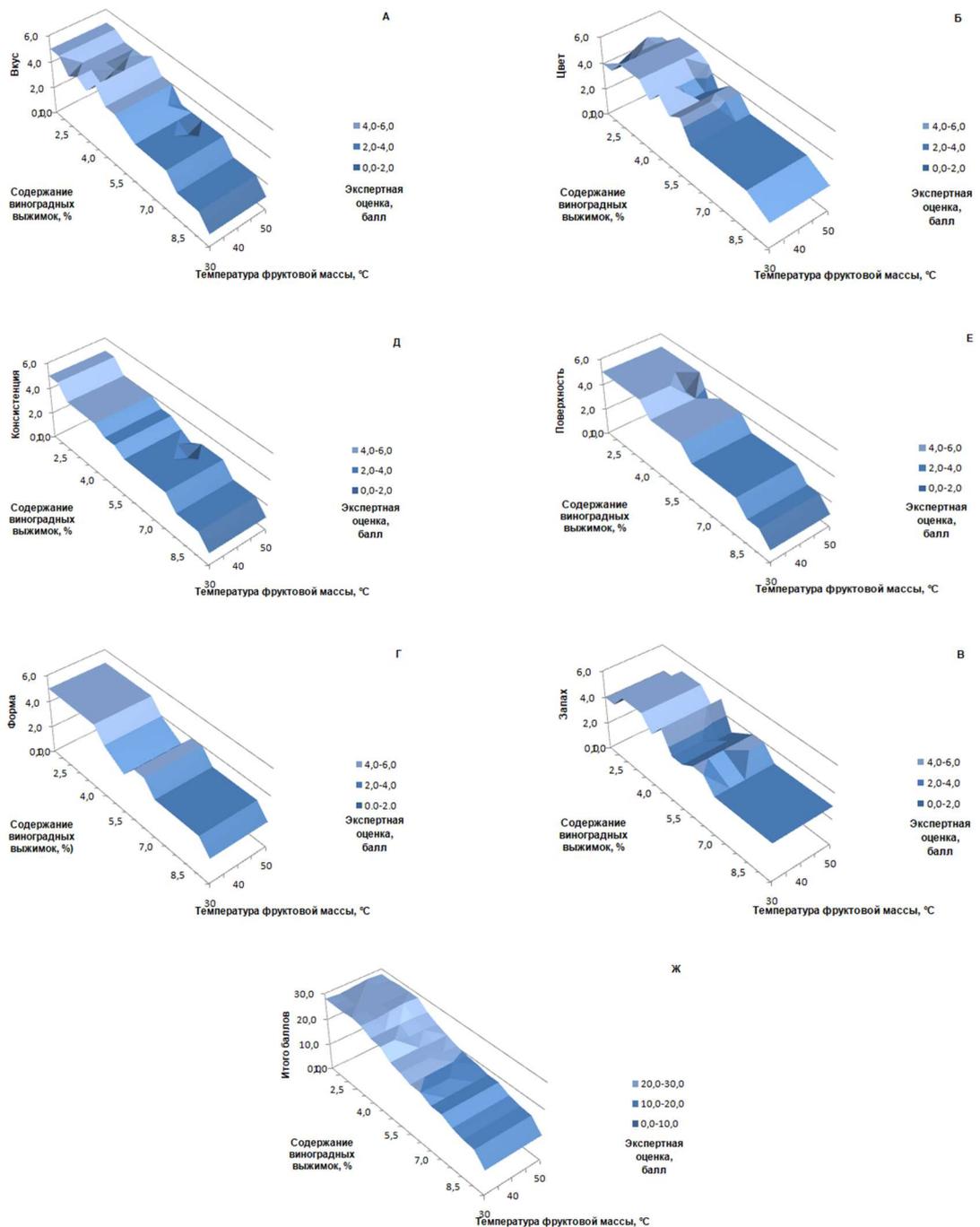


Рисунок 1 – Зависимость показателей продукта от содержания выжимок (%) и температуры

Figure 1 - Dependence of product indicators on marc content (%) and temperature

Для этой цели для каждого уравнения был определен коэффициент детерминации r^2 . С его помощью было оценена степень

соответствия моделей регрессии исходным данным, на базе которых они были получены. Результаты представлены в таблице 2.

ОПТИМИЗАЦИЯ ДОЗИРОВОК ВИНОГРАДНЫХ ВЫЖИМОК ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Таблица 2 – Значения коэффициентов детерминации

Table 2 - Value soft hetermination coefficients

Показатель	Коэффициент детерминации r^2
Вкус	0,909659042
Цвет	0,747695557
Запах	0,764339122
Форма	0,859728682
Консистенция	0,917399597
Поверхность	0,903939865
Итоговый показатель	0,963275541

Полученные значения коэффициентов детерминации свидетельствует о том, что модели имеют вполне приемлемую значимость. При этом самый высокий коэффициент итогового органолептического показателя говорит о правильности его вычисления как суммы баллов прочих оценок.

Важность и полезность каждой из трех переменных x_1 , x_2 , x_3 в полученных уравнениях определена с помощью методов t -статистики (таблица 3).

Таблица 3 – Расчет t -статистик

Table 3 - Calculation of t -statistics

Показатель	t_1	t_2	t_3
Вкус	8,717058	1,904785	363,9726
Цвет	14,20385	2,355054	517,5449
Запах	23,8385	2,214992	707,1041
Форма	16,51847	2,881764	615,6325
Консистенция	7,341757	3,082211	376,142
Поверхность	8,097504	1,812725	338,9286
Итоговый показатель	20,34185	4,272786	813,4117

Расчет t -статистик был произведен для уровня достоверности $\alpha = 0,05$ (предполагается 5 % ошибок) и количества степеней свободы $df = 81$, двустороннее критическое значение $t_{крит}$ при этом будет равным 1,989686.

В соответствии с известными методами статистики независимая переменная t_i является значимой в уравнении регрессии в том случае, если $|t_i| > t_{крит}$. Таким образом, можно увидеть, что все переменные являются важными и полезными. Этот факт еще раз подтверждает достоверность полученных уравнений.

Далее была оценена достоверность высокого значения коэффициента r^2 с использованием F -статистики (распределения Фишера). Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты расчетов F -статистики

Table 4 - Results of calculations of F -statistics

Показатель	F -наблюдаемое значение	Вероятность получения значения F -распределения большего, чем F -наблюдаемое
Вкус	132,58	$2,83 \cdot 10^{-26}$
Цвет	517,54	$6,65 \cdot 10^{-22}$
Запах	707,10	$2,46 \cdot 10^{-23}$
Консистенция	376,14	$5,94 \cdot 10^{-25}$
Поверхность	338,93	$2,32 \cdot 10^{-23}$
Форма	615,63	$3,53 \cdot 10^{-28}$
Итог	813,41	$1,55 \cdot 10^{-40}$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что значительное влияние на органолептические показатели имеет температура приготовления и дозировка виноградных выжимок при производстве пастилы яблочной.

В ходе работы были получены математические модели, позволяющие оптимизировать дозировки виноградных выжимок при производстве пастилы яблочной.

В результате применения данных моделей было выявлено оптимальное сочетание температуры фруктовой массы (45°C) и содержания виноградных выжимок (3,0 % от общей массы) для получения наилучших значений органолептических показателей.

Достоверность оценки влияния рассмотренных параметров на органолептические показатели продукта подтверждается путем использования статистических методов. В частности, установлено, что полученные уравнения регрессии в достаточной степени соответствуют исходным данным, а следовательно, проведенные экспертные оценки являются релевантными. Таким образом, полученный результат может быть использован для проектирования рецептуры пастилы яблочной с добавлением виноградных выжимок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Health conscious consumers and sugar confectionery: Present aspects and projections / N. Konar [et al.] // Trends in Food Science & Technology. 2022. № 123. p. 57–68.
2. Godshall M.A. Candies and Sweets: Sugar and Chocolate Confectionery // Encyclopedia of Food and Health. 2016. p. 621–627.
3. Тенденции развития ассортимента хлебобулочных и мучных кондитерских изделий функциональной направленности / Е.Н. Васильева, Н.А. Тарасенко // Инновационные технологии пищевых произ-

водств : сборник тезисов докладов II Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Севастополь, 12–13 декабря 2019 года / Под ред. Н.И. Покинтелицы, Ю.О. Веляева. Севастополь : ФГАОУ ВО "Севастопольский государственный университет". 2020. С. 89–90.

4. Functional foods and dietary supplements: Products at the interface between pharma and nutrition / R.B.M. Eussen [et al.] // *European Journal of Pharmacology*. 2011. V. 668.

5. Utilization of fruits and vegetable by-products for isolation of dietary fibres and its potential application as functional ingredients / S. Pathania [et al.] // *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*. 2022. № 27. 100295.

6. Utilization of the barberry extract in the confectionery products / B. Çoban [et al.] // *LWT*. 2021. V. 145. 111362.

7. Functionality of Starch Derivatives in Bakery and Confectionery Products / M. Hadnađev [et al.] // *Biopolymers for Food Design. Handbook of Food Bioengineering*. 2018. p. 279–311.

8. Ростат: официальный сайт. Москва. URL : <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения 31.03.2023).

9. Рецептуры на мармелад, пастилу, зефир. Министерство пищевой промышленности СССР, 1974. С. 208. URL : <https://mppnik.ru/load/231-ecceptury-na-marmelad-pastilu-i-zefir.html> (дата обращения 31.03.2023).

10. ГОСТ 6441-2014 Изделия кондитерские пастильные. Общие технические условия. Введ. 01.01.2016. М. : Стандартинформ, 2019. С. 11.

11. ГОСТ 5897-90 Изделия кондитерские. Методы определения органолептических показателей качества, размеров, массы нетто и составных частей. Введ. 01.01.1992. М. : Стандартинформ, 2012. С. 7.

Информация об авторах

Е. С. Семиряжко – младший научный сотрудник отдела хранения и комплексной переработки сельскохозяйственного сырья КНИИХП-филиал ФГБНУ СКФНЦСВВ.

Т. В. Першакова – доктор технических наук, доцент, зав. отделом хранения и комплексной переработки сельскохозяйственного сырья КНИИХП-филиал ФГБНУ СКФНЦСВВ.

Е. А. Иванова – старший преподаватель ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина».

С. М. Горлов – кандидат технических наук, доцент кафедры Технологии хранения и переработки растениеводческой продукции ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина».

REFERENCES

1. Konar, N., Gunes, R., Palabiyik, I. & Toker, O.S. (2022). Health conscious consumers and sugar confectionery: Present aspects and projections. *Trends in Food Science & Technology*. (123), 57–68.

2. Godshall, M.A. (2016). Candies and Sweets: Sugar and Chocolate Confectionery. *Encyclopedia of Food and Health*. 621-627.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 12 мая 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 06 мая 2024.

The article was received by the editorial board on 12 May 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 06 May 2024.

3. Vasilyeva, E.N. & Tarasenko, N.A. (2020). Trends in the development of the range of bakery and flour confectionery products of functional orientation. *Innovative technologies of food production : collection of abstracts of the II All-Russian Scientific and Practical Conference of Students, postgraduates and Young scientists, Sevastopol, December 12-13, 2019* / Edited by N.I. Pokintelitsa, Yu.O. Velyaev. Sevastopol: Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Sevastopol State University". 89-90. (In Russ.).

4. Eussen, R.B.M., Verhagen, H., Klungel, H., Garssen, J., Loveren, H. & Kranen, H.J. (2011). Functional foods and dietary supplements: Products at the interface between pharma and nutrition. *European Journal of Pharmacology*. (668).

5. Pathania, S. & Kaur, N. (2022). Utilization of fruits and vegetable by-products for isolation of dietary fibres and its potential application as functional ingredients. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*. (27), 100295.

6. Çoban, B., Bilgin, B., Yurt, B. & Kopuk, B. (2021). Utilization of the barberry extract in the confectionery products. *LWT*. (145), 111362.

7. Hadnađev, M., Dapčević-Hadnađev, T. & Dokić, L. (2018). Functionality of Starch Derivatives in Bakery and Confectionery Products. *Biopolymers for Food Design. Handbook of Food Bioengineering*. 279-311.

8. Ростат: official website (2023). Retrieved from. <https://rosstat.gov.ru/> (In Russ.).

9. Pastille confectionery products. General technical conditions (2019). GOST 6441-2014 from 1 Jan. 2016. Moscow : Standartinform (In Russ.).

10. Confectionery products. Methods for determining organoleptic indicators of quality, size, net weight and components. (2012). GOST 5897-90 from 1 Jan. 1972. Moscow : Standartinform (In Russ.).

Information about the authors

E.S. Semiryazhko - junior researcher of the Storage Department and complex processing of agricultural raw materials Krasnodar Research Institute of Storage and Processing of Agricultural Products - branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution «North Caucasus Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking».

T.V. Pershakova - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head. Department of Storage and complex processing of agricultural raw materials Krasnodar Research Institute of Storage and Processing of Agricultural Products - branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution «North Caucasus Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking».

E.A. Ivanova - is a senior lecturer at the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin».

S.M. Gorlov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Storage and Processing of Crop Products Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin».



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 637.3

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.014

 EDN: ZQSQWG

КОМБИНИРОВАННОЕ ПОДКИСЛЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИИ СЫРОВ ТИПА «ЧЕДДЕР»

Ольга Николаевна Мусина ¹, Дарья Андреевна Усатюк ²,
Нина Ивановна Бондаренко ³

^{1,2,3} ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агrobiотехнологий», 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. Классическая технология получения сыра типа «Чеддер» предполагает полностью микробиальное сквашивание подготовленного молока. Авторами предложено заменить микробиальное сквашивание на комбинированное с одновременным использованием органического подкислителя и заквасочных микроорганизмов. В качестве органического подкислителя обосновано использование глюконо-дельта-лактона, который при растворении в молоке медленно преобразуется в глюконовую кислоту, что способствует равномерному подкислению молока по типу молочнокислого брожения. В качестве бактериальных подкислителей определены два типа заквасок: закваска БЗ-СТБп, состоящая из чистых культур *Streptococcus salivarius* ssp. *thermophilus* и *Lactobacillus delbrukii* ssp. *bulgaricus*; концентрат БК-ТМП, состоящий из *Lactobacillus lactis* и *Lactobacillus helveticus*. Комбинированное подкисление применено в технологии полутвердого сыра со специальной обработкой сырной массы после формования и дробным созреванием. Описан технологический процесс получения экспериментальных образцов разрабатываемого сыра. Приведены результаты физико-химических и органолептических исследований, на основе которых в составе комбинированного подкисления с ГДЛ выбрана закваска, состоящая из бактериальных культур *Lactobacillus lactis* и *Lactobacillus helveticus*. Разработана технология полутвердого сыра «Мажор» с ускоренным производственным циклом, технология описана в нормативной документации СТО ФГБНУ ФАНЦА-013-2023.

Ключевые слова: комбинированное подкисление, технологический процесс, полутвердый сыр, глюконо-дельта-лактон, закваска, бактериальные культуры, активная кислотность, физико-химические показатели сыра, органолептические показатели сыра.

Для цитирования: Мусина О. Н., Усатюк Д. А., Бондаренко Н. И. Комбинированное подкисление в технологии сыров типа «Чеддер» // Ползуновский вестник. 2024. № 2, С. 113–117. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.014. EDN: <https://elibrary.ru/ZQSQWG>.

Original article

COMBINED ACIDIFICATION IN CHEDDAR CHEESE TECHNOLOGY

Olga N. Musina ¹, Daria A. Usatyuk ², Nina I. Bondarenko ³

^{1,2,3} 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 classic technology for producing Cheddar cheese involves completely microbial fermentation of prepared milk. The authors proposed to replace microbial fermentation with combined fermentation with the simultaneous use of an organic acidifier and fermenting microorganisms. The use of glucono-delta-lactone as an organic acidifier is justified, which, when dissolved in milk, is slowly converted into

© Мусина О. Н., Усатюк Д. А., Бондаренко Н. И., 2024

gluconic acid, which contributes to uniform acidification of milk by the type of lactic acid fermentation. Two types of starter cultures have been identified as bacterial acidifiers: BZ-STBp starter culture, consisting of pure cultures of Streptococcus salivarius ssp. thermophilus and Lactobacillus delbrukii ssp. bulgaricus; BK-TMP concentrate consisting of Lactobacillus lactis and Lactobacillus helveticus. Combined acidification is used in the technology of semi-hard cheese with special processing of the cheese mass after molding and fractional maturation. The technological process of obtaining experimental samples of the cheese being developed is described. The results of physico-chemical and organoleptic studies are presented, on the basis of which a starter culture consisting of bacterial cultures Lactobacillus lactis and Lactobacillus helveticus was selected as part of combined acidification with GDL. The technology of semi-hard cheese "Major" with an accelerated production cycle has been developed, the technology is described in the regulatory documentation of the STO FGBNU FASCA-013-2023.

Keywords: *combined acidification, technological process, semi-hard cheese, glucon-delta-lactone, starter cultures, bacterial cultures, active acidity, physico-chemical parameters of cheese, organoleptic parameters of cheese.*

Forcitation: Musina, O.N., Usatiuk, D.A. & Bondarenko, N.I. (2024). Combined acidification in Cheddar cheese technology. Polzunovskiy vestnik, (2), 113-117. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.02.014. EDN: <https://ZQSQWG>.

ВВЕДЕНИЕ

Сотрудниками лаборатории научно-прикладных и технологических разработок «Сибирского НИИ сыроделия» ФГБНУ ФАНЦА в рамках научно-исследовательской работы № 0534-2021-0010 «Повышение эффективности переработки молока, создании технологий новых сыров и другой безопасной и качественной ферментированной продукции на основе современных достижений техники, технологии, биохимии и микробиологии» осуществлен поиск возможных технологических приемов, которые способствуют оптимизации технологии получения сыра типа «Чеддер».

Сыры типа «Чеддер» получают путем чеддеризации сырной массы без ее термомеханической обработки. Классический сыр «Чеддер» изготавливают из пастеризованного и нормализованного коровьего молока с использованием мезофильных заквасочных культур и сычужного фермента. Полученное в сыродельной ванне зерно подвергают чеддеризации. Процесс чеддеризации в данной технологии заключается в многократном складывании спрессованной и разрезанной на блоки сырной массы друг на друга. Данное перекалывание позволяет сдавливать отдельные частицы сгустка, освобождая больше сыворотки, и способствует получению слоистой структуры сырной массы [1]. Во время чеддеризации бактериальная культура способствует дальнейшему образованию молочной кислоты, что необходимо для достижения активной кислотности в диапазоне от 5,4 до 5,0 ед. рН, так как именно при значениях рН, входящих в данный диапазон, сыр способен плавиться и вытягиваться при использовании его в составе горячих блюд.

Разработчиками новой технологии сыра типа «Чеддер» предложено заменить мик-

робинальное сквашивание молочной смеси на комбинированное, подразумевающее одновременное использование в качестве подкислителей бактериальной культуры и органического подкислителя.

Использование комбинированного подкисления направлено на ускорение биохимических процессов и упрощение технологии получения сыра типа «Чеддер», что достигается путем исключения многократного дробления и перекалывания сырной массы с целью получения слоистой структуры и определенного значения рН.

В качестве органического подкислителя выбран глюконо-дельта-лактон (ГДЛ, E575) [2], представляющий собой белый кристаллический порошок, легко растворяющийся в воде, без запаха, без вкуса, нетоксичный и полностью метаболизирующийся в организме по типу углеводов. При растворении сухого ГДЛ он преобразуется в глюконовую кислоту [3], что в технологии сыроделия способствует равномерному подкислению молока по типу молочнокислого брожения [4–5]. В предыдущих исследованиях была определена оптимальная доза сухого ГДЛ, которая составила 1–2 кг на тонну перерабатываемой молочной смеси. Данная дозировка способствует получению сыра с активной кислотностью после охлаждения от 6,18 до 6,08 ед. рН. Для дальнейшего снижения рН и проведения процесса чеддеризации необходимо дополнительное внесение бактериальной культуры.

Цель исследований состояла в изучении возможности ускорения и упрощения классической технологии сыра типа «Чеддер» путем использования комбинированного подкисления подготовленной к свертыванию молочной смеси при научно обоснованных оптимальных технологических режимах.

МЕТОДЫ

Все исследования проводились на коровьем молоке, соответствующем требованиям ГОСТ 31449-2013 «Молоко коровье сырое. Технические условия». Нормализация цельного молока осуществлялась обезжиренным молоком, соответствующим требованиям ГОСТ 31658-2012 «Молоко обезжиренное-сырье. Технические условия».

В качестве органического подкислителя использовалась пищевая добавка E575: глюконо-дельта-лактон торговой марки «Fooding Group Limited» (Китай), соответствующая требованиям технических регламентов ТР ТС 021/2011, ТР ТС 029/2012.

В качестве микробиологических подкислителей выбраны:

1. Закваска БЗ-СТБп производителя ООО «Барнаульская биофабрика», представляющая собой лиофильно высушенную протосимбиотическую смесь чистых культур термофильного стрептококка *Streptococcus salivarius*ssp. *thermophilus* (Ст) и молочнокислой болгарской палочки *Lactobacillus delbrückii*ssp. *bulgaricus* (Пб).

2. Лиофилизированный концентрат БК-ТМП от производителя ООО «Барнаульская биофабрика», состоящий из специально подобранных штаммов *Lactobacillus lactis* и *Lactobacillus helveticus*.

Экспериментальные выработки образцов сыра с комбинированным подкислением проводились в полуавтоматической мини-сыроварне МСЭМ-40 NEW на 40 л (Россия).

Для сычужного свёртывания использовали сухой сычужно-говяжий фермент СГ-50 производства «Московского завода сычужных ферментов», содержащий химозин и говяжий пепсин в соотношении 50 : 50, а также кальций хлористый E509 по ТУ 2162-004-07623164.

Активную кислотность измеряли портативным рН-метром марки «Testo 205» с погрешностью $\pm 0,2$ рН, номер в Госреестре средств измерений РФ ФГИС АРШИН 30759-05 (компания «Testo», головной офис расположен в Германии).

Органолептические и физико-химические показатели сыров определялись по стандартным методикам. Органолептические показатели оценивались в соответствии с ГОСТ 33630-2015 «Сыры и сыры плавленые. Методы контроля органолептических показателей». Массовые доли влаги и жира определялись в соответствии с ГОСТ Р 55063-2012 «Сыры и сыры плавленые. Правила приемки, отбор проб и методы контроля».

Статистическая обработка данных про-

ведена с помощью *Microsoft Excel* (Microsoft Corporation, США). Для количественных переменных результаты представлены в виде среднего арифметического с указанием среднеквадратического отклонения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

С учетом поставленной цели в качестве альтернативных микробиологических подкислителей в составе комбинированного подкисления были выбраны: закваска БЗ-СТБп и бактериальный концентрат БК-ТМП.

Технологический процесс получения сыра типа «Чеддер» начинался с приёмки сырья, очистки и сепарирования цельного молока.

Далее молоко пастеризовали при температуре от 74 до 76 °С с выдержкой от 20 до 25 с, охлаждали и нормализовали обезжиренным молоком до 2,8 % жирности.

В нормализованное молоко при температуре сквашивания 32 °С вносили ГДП из расчета от 1 до 2 кг на тонну смеси, а также кальций хлористый из расчета 20 г на 100 кг молока.

Далее в смесь вносили закваску в дозировке, необходимой для достижения сыром активной кислотности в диапазоне от 5,4 до 5,0 ед. рН.

В конце составления смеси для сквашивания вносили раствор сычужного фермента, после чего смесь оставляли в покое до образования сгустка нормальной плотности в течение от 30 до 40 минут, после чего сгусток разрезали.

Далее получали сырное зерно, отделяли часть сыворотки, проводили второе нагревание с вымешиванием полученного сырного зерна до требуемого размера. Затем сырное зерно с сывороткой направляли самотеком в перфорированные сырные формы (формование наливом). После формования сыр в формах оставляли на самопрессование для свободного отделения сыворотки.

Далее сыр в формах помещали в термокамеру для достижения сырной массы температуры не менее 45 °С. Термостатирование (ТС) сырной массы в разрабатываемой технологии осуществляли с целью проведения процесса чеддеризации.

После термостатирования сыр охлаждали при температуре окружающего воздуха от 18 до 22 °С и помещали в концентрированный солевой рассол. Затем сыр обсушивали и упаковывали в полимерную пленку для дальнейшего хранения.

В таблице 1 представлены данные активной кислотности исследуемых объектов по ходу технологического процесса получения экспериментальных образцов полутвердого сыра с комбинированным подкислением.

Таблица 1 – Активная кислотность исследуемых объектов

Table 1 - The active acidity of the studied objects

Исследуемые объекты	Активная кислотность, ед. рН	
	БЗ-СТБп	БК-ТМП
Готовый сгусток	6,24±0,02	6,28±0,05
Сыворотка после разрезки	6,19±0,04	6,21±0,08
Сыворотка после второго нагревания	6,11±0,02	6,13±0,06
Сформованное зерно	6,00±0,04	6,09±0,07
Сыр после ТС	5,77±0,05	5,96±0,07
Сыр после охлаждения	5,02±0,02	5,15±0,08

Анализ данных, представленных в таблице 1, свидетельствует о том, что подобранные бактериальные культуры и их дозировки в комбинации с сухим ГДЛ в технологии разрабатываемого полутвердого сыра типа «Чеддер» способствуют получению оптимального и заранее требуемого уровня активной кислотности разрабатываемого сыра.

Известно, что для «Чеддера» высшего качества рН должен находиться в пределах от 5,15 до 4,95 ед.

Активная кислотность опытных образцов сыра с обоими типами заквасочных культур после охлаждения находилась в пределах от 5,15 до 5,02 ед. рН. Полученные результаты способствуют получению оптимальных физико-химических и органолептических показателей, характерных для сыров с чеддеризацией сырной массы.

Важно отметить, что более активный молочно-кислый процесс с образованием большего количества молочной кислоты отмечен с закваской БЗ-СТБп, состоящей из термофильного стрептококка *Streptococcus salivarius ssp. thermophilus*) и болгарской палочки *Lactobacillus delbruii ssp. bulgaricus*.

Для дальнейшего сравнения специфичности технологического поведения двух типов заквасок были изучены физико-химические показатели экспериментальных образцов полутвердого сыра с комбинированным подкислением типа «Чеддер».

В таблице 2 представлены физико-химические показатели образцов полутвердого сыра с комбинированным подкислением в зависимости от вида бактериальных культур.

Данные таблицы 2 позволяют сделать вывод о том, что для образцов с закваской БЗ-СТБп характерны большая массовая доля

влаги, более высокий выход и меньшее содержанием жира. Образцы с закваской БК-ТМП, состоящей из *Lactobacillus lactis* и *Lactobacillus helveticus*, наоборот, отличались более низким содержанием влаги, меньшим выходом и большей жирностью.

Таблица 2 – Физико-химические показатели экспериментальных образцов сыра

Table 2 - Physico-chemical parameters of experimental cheese samples

Физико-химические показатели	Содержание, %	
	БЗ-СТБп	БК-ТМП
Выход, %	12,2±0,11	10,8±0,15
Массовая доля влаги, %	48,1±0,13	44,3±0,09
Абсолютный жир, %	21,6±0,05	23,6±0,09
Массовая доля жира в сухом веществе сыра, %	41,6±0,14	42,4±0,08

Таблица 3 – Органолептические показатели экспериментальных образцов сыра

Table 3 - Organoleptic characteristics of experimental cheese samples

Закваска	Вкус и запах	Консистенция	Рисунок
БЗ-СТБп	Хороший, чистый, сырный, незначительная кислинка	Менее эластичная, немного крошливая	Незначительные пустоты
БК-ТМП	Хороший, чистый, выраженный сырный, пряный	Хорошая, плотная, связная	Без видимых щелей и пустот

Для оценки влияния заквасочных микроорганизмов в сочетании с ГДЛ в разрабатываемой технологии на вкусовые характеристики нового вида сыра типа «Чеддер» многократно проводилась органолептическая оценка экспериментальных образцов сыра. В таблице 3 приведены сводные данные по органолептическим показателям экспериментальных образцов сыра.

Образцы, полученные путем комбинированного подкисления с закваской БЗ-СТБп, характеризовались сырным вкусом и запахом, но с незначительной кислинкой (таблица 3), а также немного крошливой консистенцией. Образцы с закваской БК-ТМП имели хороший выраженный сырный пряный вкус и запах в сочетании с плотной консистенцией, что является обязательным требованием для сыров типа «Чеддер» и сыров для пиццы.

Таким образом, экспериментально установлено, что при использовании в качестве бактериальных культур *Lactobacillus lactis* и *Lactobacillus helveticus* удается получить более

плотную консистенцию за счет меньшего количества влаги. Данные культуры способствовали эффективному обсушиванию сырного зерна во время обработки в сыродельной ванне, а также быстрому отхождению сыворотки во время самопрессования и термостатирования сформованной сырной головки.

Принимая во внимание вышеизложенные данные проводимых экспериментов и опытных выработок, разработчиками принято решение рекомендовать в качестве микробияльного подкислителя в комбинированном подкислении закваску на основе бактериальных культур *Lactobacillus lactis* и *Lactobacillus helveticus*. На основе полученных научных данных разработана технология сыра «Мажор» с ускоренным и упрощенным относительно классической технологии сыра типа «Чеддер» производственным циклом, технология описана в нормативной документации СТО ФГБНУ ФАНЦА-013-2023.

ВЫВОДЫ

В результате проведенной научно-исследовательской работы была разработана технология полутвердого сыра со специальной обработкой сырной массы после формования и дробным созреванием с ускоренным производственным циклом за счет применения комбинированного подкисления при помощи органической кислоты ГДЛ и бактериальной закваски на основе бактериальных культур *Lactobacillus lactis* и *Lactobacillus helveticus*, а также применения оптимальных технологических режимов специальной обработки уже полученной сырной массы.

На научно-обоснованную технологию разработан и утвержден в установленном порядке стандарт организации СТО ФГБНУ ФАНЦА-013-2023. Данный нормативный документ распространяется на полутвердый сыр под названием «Мажор», с низкой температурой второго нагревания, вырабатываемый из коровьего нормализованного пастеризованного молока с использованием бактериальных заквасок и регулятора кислотности, путем коагуляции молочных белков молоко-свертывающим ферментом, со специальной обработкой сырной массы после формования и дробным созреванием.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 12 мая 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 06 мая 2024.

The article was received by the editorial board on 12 May 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 06 May 2024.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. МакСуини П.Л.Г. Практические рекомендации сыроделам. СПб. : Профессия, 2010. 374 с.
2. Глюконо Дельта Лактон (ГДЛ) – орион продукт. URL : <https://orion-food.com/gdl.html> (дата обращения: 23.01.2024).
3. GLUCONO DELTA-LACTONE – Ataman Kimya. URL: <https://atamanchemicals.com/glucono-delta-lactone-u26291/> дата обращения: 20.03.2024).
4. Parke S.A. Tastes, structure and solution properties of D-Glucono-1,5-lactone / S.A. Parke, G.G. Birch, D.B. MacDougall, D.A. Stevens // *Chemical Senses*, 1997. Vol. 22, № 1. P. 53-65.
5. Мироненко И.М. Использование глюкона-δ-лактона как подкисляющего агента / И.М. Мироненко, А.И. Яшкин // *Актуальные проблемы техники и технологии переработки молока. Том Выпуск 11. Барнаул : АЗБУКА, 2014. С. 40–45. EDNZYYPTD.*

Информация об авторах

О. Н. Мусина – д-р техн. наук, гл. науч. сотр., руководитель «Сибирского НИИ сыроделия» ФГБНУ Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий (ФАНЦА).

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.

REFERENCES

1. McSweeney, P.L.G. (2010). Practical recommendations for cheese makers. St. Petersburg : Profession. (In Russ.).
2. Glucono Delta Lactone (GDL) is an orion product (2024). Retrieved from <https://orion-food.com/gdl.html> (accessed: 01/23/2024). (In Russ.).
3. GLUCONO DELTA-LACTONE - Ataman Kimya. (2024). Retrieved from https://atamanchemicals.com/glucono-delta-lactone_u26291/ / date of access: 03/20/2024). (In Russ.).
4. Parke, S.A., Birch, G.G., MacDougall, D.B. & Stevens, D.A. (1997). Tastes, structure and solution properties of D-Glucono-1,5-lactone. *Chemical Senses*, 22(1). 53-65. (In Russ.).
5. Mironenko, I.M. & Yashkin, A.I. (2014). The use of glucon-δ-lactone as an acidifying agent. Actual problems of technology and technology of milk processing. (11). Barnaul: AZBUKA, 40-45. EDNZYYPTD.

Information about the authors

O.N. Musina - D.Sc., Head of the «Siberian Research Institute of Cheese-Making» Federal Altai Scientific Centre of Agro-Bio Technologies (FASCA), Professor of the Institute for Biotechnology, Food and Chemical Engineering, Polzunov Altai State Technical University.

D.A. Usatiuk - research scientist, lab. of scientific and applied technological developments of the "Siberian Research Institute of Cheese-Makin», FASCA.

N.I. Bondarenko - Head of the lab. of scientific and applied technological developments of the "Siberian Research Institute of Cheese-Makin», FASCA.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.34

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.015



ПЕКТИНСОДЕРЖАЩИЙ ПОРОШОК ИЗ ЗАМОРОЖЕННЫХ ВЫЖИМОК МЕЛКОПЛОДНЫХ ЯБЛОК В ПРОИЗВОДСТВЕ ЗЕРНОВОГО ХЛЕБА

Денис Александрович Кох ¹, Жанна Александровна Кох ²

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

¹ dekoch@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3047-1386>

² jannetta-83@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4016-7596>

Аннотация. Использование инновационных аппаратно-технологических решений позволяет реализовать нутриентный подход к формированию функциональных продуктов питания. Использование натуральных ингредиентов позволит не только минимизировать сезонность использования в питании функциональных продуктов, но и увеличить содержание функциональных ингредиентов, биологически активных веществ, усиливающих сопротивляемость организма потребителя вызовам современности. При производстве хлеба необходимо сократить или исключить использование улучшителей и других пищевых добавок. Устранить этот недостаток можно за счет внесения в состав рецептурных компонентов биологически активных веществ, одним из которых являются замороженные выжимки мелкоплодных яблок, на основе которых был получен пектинсодержащий порошок. Целью исследования являлось разработать способ производства зернового хлеба с использованием пектинсодержащего порошка. Объектом исследования были выбраны пектинсодержащий порошок из замороженных выжимок мелкоплодных яблок, содержащий значительное количество сухих веществ $89 \pm 0,15$ %, водорастворимых пектиновых веществ $77 \pm 0,05$ %, а также смесь нешелушеного зерна – пшеницы 60 % и ржи 40 %, которую промывали и замачивали на 12,5 ч при температуре 22–24 °С в воде до появления ростков размера не более 0,3 мм, далее проводили СВЧ-обработку зерна в микроволновой печи при мощности 900 Вт в течение 3 мин. Разработан новый способ производства зернового хлеба с использованием пектинсодержащего порошка, с улучшенными органолептическими и физико-химическими показателями качества. Выполненные исследования подтверждают соответствие порошка из выжимок мелкоплодных яблок требованиям ГОСТ 25832-89 «Изделия хлебобулочные диетические. Технические условия».

Ключевые слова: пищевая промышленность, зерновой хлеб, пектинсодержащий порошок из замороженных плодов мелкоплодных яблок, биоактивированное зерно, однородная зерновая масса, способ производства.

Для цитирования: Кох Д. А., Кох Ж. А. Пектинсодержащий порошок из замороженных выжимок мелкоплодных яблок в производстве зернового хлеба // Ползуновский вестник. 2024. № 2, С. 118–123. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.015. EDN: <https://elibrary.ru/PXSEPL>.

Original article

PECTIN-CONTAINING POWDER FROM FROZEN POMACE OF SMALL-FRUITED APPLES IN GRAIN BREAD PRODUCTION

Denis A. Koch ¹, Zhanna A. Koch ²

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

¹ dekoch@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3047-1386>

² jannetta-83@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4016-7596>

© Кох Д. А., Кох Ж. А., 2024

Abstract. *The use of innovative hardware and technological solutions allows to realize the nutrient approach to the formation of functional foods. And the use of natural ingredients will not only minimize the seasonality of use of functional products in nutrition, but also increase the content of functional ingredients, biologically active substances that strengthen the resistance of the consumer's body to the challenges of modernity. In bread production it is necessary to reduce or eliminate the use of improvers and other food additives. This drawback can be eliminated by introducing biologically active substances into the composition of recipe components, one of which is frozen pomace of small-fruited apples on the basis of which pectin-containing powder was obtained. The purpose of the study was to develop a method of production of grain bread with the use of pectin-containing powder. The object of research was chosen pectin-containing powder from frozen squeeze of small-fruited apples, containing a significant amount of dry matter $89\pm 0,15\%$, water-soluble pectin substances $77\pm 0,05\%$, as well as a mixture of unshredded grain - wheat 60% and rye 40%, which was washed and soaked for 12.5 h at 22-24°C in water until the appearance of sprouts of size no more than 0.3 mm, then microwave treatment of grain in a microwave oven at a power of 900 W for 3 min. A new method of grain bread production with the use of pectin-containing powder with improved organoleptic and physicochemical parameters was developed. The performed studies of organoleptic and physico-chemical quality indicators of grain bread with the use of pectin-containing powder from pomace of small-fruited apples corresponds to requirements of GOST 25832-89 "Dietary bakery products. Technical conditions".*

Keywords: *food industry, grain bread, pectin-containing powder from frozen fruits of small-fruited apple trees, bioactivated grain, homogeneous grain mass, production method.*

For citation: Kokh, D.A. & Kokh, Zh.A. (2024). Pectin-containing powder from frozen squeezes of small-fruited apples in grain bread production. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 118-123. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.02.015. EDN: <https://PXSEPL>.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время питание значительной части населения мира характеризуется несоответствием между высоким уровнем потребления высококалорийной пищи с низким содержанием эссенциальных веществ и низким уровнем потребления энергии. Сегодня более чем когда-либо значительная часть населения нуждается в пище со сбалансированным составом аминокислот и жирных кислот для поддержания здоровья. Такой продукт может обеспечить человека необходимым количеством различных макро- и микроэлементов и, кроме того, не изменит привычный рацион и образ жизни. Для решения этой задачи обычно используются различные методы, одним из которых является внесение в рецептуру пищевых продуктов биологически активных веществ, которые обеспечивают существенное повышение пищевой ценности продуктов питания [1–3].

Кроме того, именно использование инновационных аппаратно-технологических решений позволяет реализовать нутриентный подход к формированию функциональных продуктов питания. А использование натуральных ингредиентов позволит не только минимизировать сезонность использования в питании функциональных продуктов, но и увеличить содержание функциональных ингредиентов, биологически активных веществ, усиливающих сопротивляемость организма

потребителя вызовам современности. Натуральное растительное сырье различных видов: овощи, фрукты, ягоды, пряно-ароматическое и т.д., может обеспечить производство конкурентоспособных полуфабрикатов с функциональными, прогнозируемыми структурно-механическими и органолептическими свойствами [1, 4, 5, 8, 9, 11].

Исследования по научному обоснованию путей и методов их рационального использования потенциальных возможностей растительного сырья для расширения ассортимента хлебобулочных изделий являются актуальными в настоящее время. Содержание химических компонентов растительного сырья дает возможность получения новых видов функциональных продуктов. При производстве хлеба необходимо сократить или исключить использование улучшителей и других пищевых добавок. Устранить этот недостаток можно за счет внесения в состав рецептурных компонентов биологически активных веществ, содержащихся в замороженных выжимках из мелкоплодных яблок, на основе которых был получен пектинсодержащий порошок [6, 10, 12, 13, 14].

Замороженные выжимки из мелкоплодных яблок представляют собой побочный продукт переработки мелкоплодных яблок и составляют 20–35 % сырого веса. Выжимки богаты минеральными веществами, пищевыми волокнами и полифенольными соединениями, кроме того, являются хорошим источником пектина.

Пищевые волокна выжимок состоят из целлюлозы, гемицеллюлозы и пектина. Пектин – один из основных компонентов пищевых волокон, присутствующих в яблочных выжимках, представляет собой природный макромолекулярный полисахарид [13–15].

Целью данного исследования является разработка способа производства зернового хлеба с использованием пектинсодержащего порошка.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать новый способ производства зернового хлеба с повышенной пищевой ценностью с использованием пектинсодержащего порошка из замороженных выжимок мелкоплодных яблок.

2. Исследовать органолептические и физико-химические показатели качества зернового хлеба с использованием пектинсодержащего порошка из замороженных выжимок мелкоплодных яблок.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования – пектинсодержащий порошок из замороженных выжимок мелкоплодных яблок. Пектинсодержащий порошок получали из замороженных выжимок мелкоплодных яблок, который подвергали размораживанию в условиях СВЧ-нагрева при мощности 750 Вт в течение 10 мин, затем производили измельчение выжимок мелкоплодных яблок на ножевом измельчителе до размера частиц $d = 1,5\text{--}2,5$ мм, далее полученную яблочную массу направляли в экстрактор, где в присутствии лимонной кислоты доводили до pH среды 2,0–2,5 и частоте вращения 2500 об/мин при температуре 40–45 °C в течение 15–20 минут, в результате чего происходил гидролиз-экстрагирование. Полученную пектинсодержащую массу высушивали до содержания сухих веществ 88–90 %, затем высушенную пектинсодержащую массу измельчали до размера частиц 50 мкм. Полученный пектинсодержащий порошок с содержанием растворимого пектина составлял 75–80 % от растворимой фракции пектина в сырье [16].

Смесь нешелушеного зерна – пшеницы 60 % и ржи 40 %, которую промывали и замачивали на 12,5 ч при температуре 22–24 °C в воде до появления ростков размера не более 0,3 мм, далее проводили СВЧ-обработку зерна в микроволновой печи при мощности 900 Вт в течение 3 мин, затем зерно диспергировали до размера 3,0–4,0 мм. Для приготовления зернового хлеба в экспериментальных вариантах использовали однородную

зерновую массу из биоактивированного зерна пшеницы и ржи, варианты были выбраны на основе изменяющихся органолептических и физико-химических показателей с целью выявления трех наиболее приемлемых образцов зернового хлеба с внесением пектинсодержащего порошка. Контролем для исследования служил зерновой хлеб, приготовленный из увлажненного водой зерновой смеси пшеницы и ржи без внесения пектинсодержащего порошка [8, 10, 12].

Определение органолептических и физико-химических показателей качества готовых изделий проводили по общепринятым методам анализа в соответствии с ГОСТ 34165-2017 «Зерновые, зернобобовые и продукты их переработки» [7].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты, полученные при анализе пектинсодержащего порошка из замороженных выжимок мелкоплодных яблок, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-химические показатели пектинсодержащего порошка, полученного из замороженных выжимок мелкоплодных яблок с использованием СВЧ-обработки

Table 1 - Physico-chemical parameters of pectin-containing powder obtained from frozen pomace of small-fruited apples using microwave processing

Наименование показателей	Рекомендуемая норма	Полученный пектинсодержащий порошок
Содержание сухих веществ, % не менее	85	89±0,15
Массовая доля водорастворимых пектиновых веществ, % не менее	65	77±0,05
Студнеобразующая способность, градусы Тарр-Бейкера, не менее	200	245±0,30
Массовая доля влаги, % не более	10	8,8±0,45

Анализ таблицы 1 показывает, что пектинсодержащий порошок из замороженных выжимок мелкоплодных яблок содержит значительное количество сухих веществ 89 ± 0,15 %, водорастворимых пектиновых веществ 77 ± 0,05, это объясняется концентрацией биологически активных соединений, которые содержатся в пектинсодержащем порошке из замороженных выжимок мелко-

ПЕКТИНСОДЕРЖАЩИЙ ПОРОШОК ИЗ ЗАМОРОЖЕННЫХ ВЫЖИМОК МЕЛКОПЛОДНЫХ ЯБЛОК В ПРОИЗВОДСТВЕ ЗЕРНОВОГО ХЛЕБА

плодных яблок с использованием СВЧ-обработки.

Для дальнейшего изучения был произведен расчет производственных рецептур на основе измельченной зерновой массы из биоактивированного зерна с внесением в рецептуру пектинсодержащего порошка, компонентный состав рецептуры зернового хлеба приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Компонентный состав рецептур зернового хлеба

Table 2 - Component composition of grain bread recipes

Наименование сырья	Расход сырья, г			
	Контр.	1	2	3
Измельченная зерновая масса из увлажненного водой зерна, г	100,0	100,0	100,0	100,0
Пектинсодержащий порошок из замороженных выжимок мелкоплодных яблок, %		5	10	15
Раствор поваренной пищевой соли, г	1,5	1,5	1,5	1,5
Суспензия дрожжей хлебопекарных пресованных, г	2,0	2,0	2,0	2,0
Вода питьевая, г	9,2	10,0	9,1	8,5
Итого	112,7	113,5	112,6	112,0

Контрольный и опытные образцы хлеба были приготовлены по безопасному способу, параметры технологического процесса производства зернового хлеба представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры технологического процесса производства зернового хлеба

Table 3 - Parameters of the technological process of grain bread production

Параметр	Контр.	1	2	3
Время замеса, мин	10	8	6	4
Время брожения, мин	60	60	80	100
Время выпечки, мин	35	35	35	35
Температура выпечки, °С	230	215	220	235

Выполненный анализ физико-химических показателей представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Анализ физико-химических показателей готовых изделий

Table 4 - Analysis of physical and chemical parameters of finished products

Наименование показателей	Результаты анализа по примерам			
	Контр.	1	2	3
Влажность, %	46	44	42	40
Кислотность, град	2,9	3,5	3,9	4,5
Пористость, %	55	60	65,8	63,5
Объемный выход хлеба, см ³ /100 г	196	212	245	238

Анализ таблицы 4 показывает, что образцы зернового хлеба с внесением пектинсодержащего порошка из замороженных выжимок мелкоплодных яблок имеют более развитую пористость и объемный выход готовых изделий.

Установлено, что с увеличением дозировки порошка пористость мякиша увеличилась от 9 до 19 %, объемный выход также увеличился от 6 до 25 % соответственно (таблица 4). Это объясняется тем, что пектинсодержащий порошок из замороженных выжимок мелкоплодных яблок позволяет обогащать хлебобулочные изделия биологически активными веществами, пищевыми волокнами, минеральными веществами, углеводами за счет разрушения высокомолекулярных полисахаридов (целлюлозы, клетчатки, крахмала), с высокой желирующей способностью за счет перевода протопектина в растворимый пектин. Изменение влажности зернового хлеба в процессе хранения представлено в таблице 5.

Таблица 5 – Изменение влажности зернового хлеба в процессе хранения

Table 5 - Change in the moisture content of grain bread during storage

Образцы	Влажность, %		
	24 ч	48 ч	72 ч
Контр.	44,13	41,54	39,83
1	42,86	42,10	41,55
2	41,58	41,27	40,64
3	39,15	38,93	38,11

Анализ таблицы 5 позволяет сделать вывод о том, что в процессе хранения образцов зернового хлеба с внесением пектинсодержащего порошка из замороженных выжимок мелкоплодных яблок изменение влажности наблюдалось незначительно, в отличие

от изменения влажности контрольного образца, это связано с тем, что пектин является влагоудерживающим агентом, который формирует студнеобразные структуры, приводящий к снижению потери влаги и ретроградации крахмала при хранении, что объясняет

замедление процесса черствения и продление срока хранения зернового хлеба.

Для анализа органолептических показателей зернового хлеба была проведена сенсорная оценка готовых изделий, результаты которой представлены на рисунке 1.

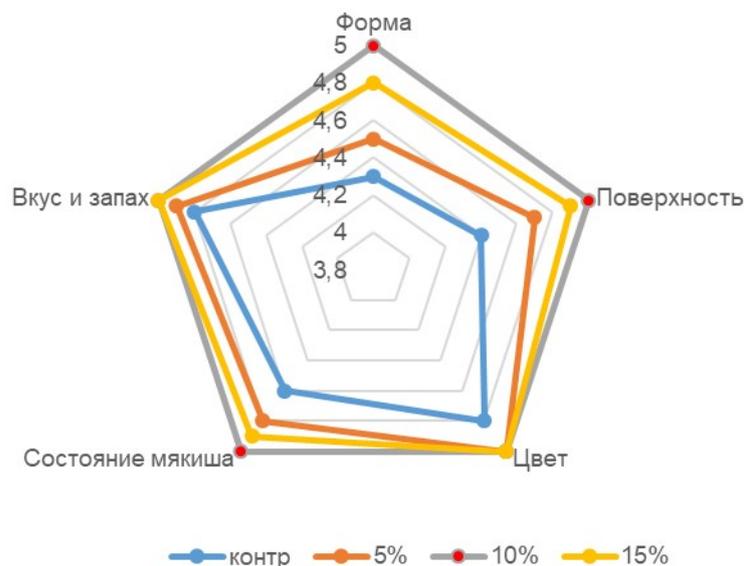


Рисунок 1 – Сенсорный анализ зернового хлеба с использованием пектинсодержащего порошка из замороженных выжимок мелкоплодных яблок

Figure 1 - Sensory analysis of grain bread using pectin-containing powder from frozen pomace of small-fruited apples

Сенсорный анализ зернового хлеба, представленный на рисунке 1, показывает, что образцы, приготовленные с добавлением пектинсодержащего порошка из замороженных выжимок мелкоплодных яблок, имеют вкус и запах, свойственный хлебу из пророщенного зерна пшеницы, с легким вкусом и ароматом яблок, близким к контрольному образцу. Экспериментальные образцы зернового хлеба имели правильную форму, с выпуклой верхней коркой, отсутствием боковых выплывов и трещин на поверхности, соответствующей хлебной форме, в которой производилась выпечка. Цвет золотисто-коричневый. Мякиш зернового хлеба развитый, без уплотнений, пропеченный, не заминающийся.

Предложенный способ производства зернового хлеба на основе пектинсодержащего порошка из замороженных выжимок мелкоплодных яблок позволяет улучшить органолептические и физико-химические показатели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получен пектинсодержащий порошок из замороженных выжимок мелкоплодных яблок, который содержит значительное количество сухих веществ $89 \pm 0,15$ %, водораство-

римых пектиновых веществ $77 \pm 0,05$ %, это объясняется концентрацией биологически активных соединений, которые содержатся в пектинсодержащем порошке из замороженных выжимок мелкоплодных яблок с использованием СВЧ-обработки.

Разработан новый способ производства зернового хлеба с использованием пектинсодержащего порошка с улучшенными органолептическими и физико-химическими показателями в соответствии с требованиями ГОСТ 25832-89 «Изделия хлебоулочные диетические. Технические условия». Кроме того, использование пектинсодержащего порошка позволит расширить и разнообразить ассортимент зернового хлеба.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Винницкая В.Ф., Акишин Д.В., Перфилова О.В. Разработка и создание функциональных продуктов из растительного сырья в Мичуринском государственном аграрном университете // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2013. № 6. С. 83–86.

2. Kokh D.A., Kokh Z.A. Concentrated juice from fruits of small-fruited apple trees – As a semi-finished product for the food industry // AIP Confer-

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 2 2024

ПЕКТИНОСОДЕРЖАЩИЙ ПОРОШОК ИЗ ЗАМОРОЖЕННЫХ ВЫЖИМОК МЕЛКОПЛОДНЫХ ЯБЛОК В ПРОИЗВОДСТВЕ ЗЕРНОВОГО ХЛЕБА

ence Proceedings, Ekaterinburg. Ekaterinburg, 2021. P. 020008. doi 10.1063/5.0068564.

3. Kokh D.A., Kokh Z.A. Use of pasta from seeds of *Carum carvi* in bakery // Modern Science and Innovations. 2021. № 2 (34). P. 140–145. doi 10.37493/2307-910X.2021.2.13.

4. Бисчокова Ф.А., Бориева Л.З., Шогенова И.Б. Применение полуфабрикатов из дикорастущего сырья для повышения пищевой ценности хлебобулочных изделий // Новые технологии. 2020. № 1. С. 11–20. doi 10.24411/2072-0920-2020-10101.

5. Буховец В.А., Ефимова Д.В., Давыдова Л.В. Разработка технологии производства хлебобулочных изделий повышенной пищевой ценности // Техника и технология пищевых производств. 2019. Т. 49, № 2. С. 193–200. doi 10.21603/2074-9414-2019-2-193-200.

6. Горячева Г.Н., Савенкова Т.В., Тарасенко Ю.А. Особенности использования фруктовых годных полуфабрикатов // Кондитерское производство. 2006. № 1. С. 13.

7. ГОСТ 25832-89 «Изделия хлебобулочные диетические. Технические условия». М. : Госстандарт. 1993. 14 с

8. Кох Д.А. Использование полуфабриката из плодов мелкоплодных яблонь Красноярского края в технологии яблочно-зернового хлеба / Д.А. Кох, Ж.А. Кох // Хлебопродукты. 2023. № 7. С. 62–64. DOI 10.32462/0235-2508-2023-32-7-62-64.

9. Кох Д.А., Кох Ж.А. Функциональный ингредиент в производстве ржаного // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития: Материалы международной научно-практической конференции, Красноярск, 20–22 апреля 2021 года. Том 1 Часть 2. Красноярск : Красноярский государственный аграрный университет, 2021. С. 298–302. EDN YNHTMP.

10. Кох Д.А. Изменение физико-химического состава плодов мелкоплодных яблочек в процессе замораживания // Вестник КрасГАУ. 2010. № 10 (49). С. 232–234.

11. Кох Д.А., Кох Ж.А. Полуфабрикат для пищевой промышленности из плодов мелкоплодных яблочек // Актуальные вопросы переработки и формирования качества продукции АПК: Материалы международной научной конференции, Красноярск, 24 ноября 2021 года. Красноярск : Красноярский государственный аграрный университет, 2021. С. 83–86.

12. Пат. № 2785378 РФ. Способ производства яблочно-зернового хлеба / Д.А. Кох, Ж.А. Кох : № 2021132598 : заявл. 08.11.2021 : опубл. 07.12.2022, Бюл. № 34. 15 с ; заявитель : ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет».

13. Перфилова О.В., Бабушкин В.А., Ананских В.В. Ресурсосберегающая технология переработки яблок // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2017. № 6(20). С. 21–28.

14. Тимакова Р.Т. Оценка качества пшеничного хлеба, обогащенного натуральным яблочным сырьем // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия : Процессы и аппараты пищевых производств. 2020. № 2(44). С. 22–28. doi 10.17586/2310-1164-2020-10-2-21-28.

15. Типсина Н.Н. Кох Д.А., Туманова А.Е. Использование растительного сырья в производстве кондитерских и хлебобулочных изделий // Кондитерское и хлебопекарное производство. 2014. № 3-4(148). С. 42–43.

16. Пат. № 2804865 РФ. Способ получения пектинового порошка из выжимок мелкоплодных яблок / Д.А. Кох : № 2023100960: заявл. 17.01.2023: опубл. 09.10.2023, Бюл. № 28. 15 с. Заявитель ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет».

Информация об авторах

Д. А. Кох – к.т.н., доцент кафедры технологии хлебопекарного, кондитерских и макаронных производств ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет».

Ж. А. Кох – к.т.н., доцент кафедры технологии, оборудования бродильных и пищевых производств ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет».

Information about the authors

D.A. Kokh - Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department, of technology of bakery, confectionery and pasta production FSBEI HE Krasnoyarsk State Agrarian University.

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".

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 29 июля 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 06 мая 2024.

The article was received by the editorial board on 29 July 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 06 May 2024.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 637.352:637.247(571.150)
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.016



ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА СЫРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАХТЫ

Валентина Николаевна Гетманец

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный аграрный университет», Барнаул, Россия
getmanecv@mai.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1366-2922>

Аннотация. В работе рассматривается целесообразность использования пахты, полученной в процессе изготовления сладкосливочного масла, в производстве мягкого сыра «Монарх» как для составления нормализованной смеси, так и в качестве основного сырья.

В последнее время все большее внимание практики и исследователи обращают на расширение ассортимента мягких сыров и на производство низкокалорийных продуктов, обладающих высокой биологической ценностью. Пахта является перспективным вторичным молочным сырьем для производства сыров. По содержанию биологически ценных компонентов пахта не уступает цельному молоку.

В процессе исследования были выработаны контрольный и опытные образцы мягкого сыра, контрольный и опытный 1 из нормализованной смеси. Для контрольного нормализацию проводили обезжиренным молоком, в опытном обезжиренное молоко заменили пахтой, нормализацию проводили до жирности 3,2 %. Сырьем для опытного образца 2 была пахта. Суммарная балльная оценка по органолептическим показателям образцов сыра составила 48–49 баллов из 50 возможных. Содержание сухого вещества в сыре из нормализованной смеси было практически на одном уровне и составило 50,6–50,65 %, в образце сыра, изготовленного из пахты, этот показатель был меньше на 17,7 %. Содержание влаги в сыре из нормализованной смеси отвечало норме – 60 %, а в сыре из пахты – на 7 % больше требований. По содержанию белка были небольшим колебанием от 19,73 до 20,33 %.

Ключевые слова: пахта, вторичное молочное сырье, мягкий сыр, термокислотная коагуляция, белок, расход сырья.

Для цитирования: Гетманец В. Н. Целесообразность производства сыра с использованием пахты // Ползуновский вестник. 2024. № 2, С. 124–129. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.016. EDN: <https://elibrary.ru/OCXQRL>.

Original article

FEASIBILITY OF PRODUCING CHEESE USING BUTTERMILK

Valentina N. Getmanets

Altai State Agrarian University, Barnaul, Russian Federation
getmanecv@mai.ru <https://orcid.org/0000-0002-1366-2922>

Abstract. The paper considers the expediency of using buttermilk obtained during the manufacture of sweet butter in the production of soft cheese "Monarch", both for the preparation of a normalized mixture and as the main raw material.

Recently, practitioners and researchers have been paying increasing attention to expanding the range of soft cheeses and to the production of low-calorie products with high biological value. Buttermilk is a promising secondary dairy raw material for cheese production. In terms of the content of biologically valuable components, buttermilk is not inferior to whole milk.

In the course of the study, control and experimental samples of soft cheese were developed, control and experimental 1 from a normalized mixture, for the control normalization was carried out

© Гетманец В. Н., 2024

with skimmed milk, in the experimental skimmed milk was replaced with buttermilk, normalization was carried out to a fat content of 3.2%. The raw material for the prototype 2 was buttermilk. The total score for the organoleptic parameters of the cheese samples was 48-49 points out of 50 possible. The dry matter content in the cheese from the normalized mixture was almost at the same level and amounted to 50.6-50.65%, in the sample of cheese made from buttermilk, this indicator was 17.7% less. The moisture content of the cheese from the normalized mixture corresponded to the norm - 60%, and the buttermilk cheese had 7% more requirements. In terms of protein content, there was a slight fluctuation from 19.73 to 20.33%.

Keywords: buttermilk, secondary dairy raw materials, soft cheese, thermal acid coagulation, protein, raw material consumption.

For citation: Getmanets, V.N. (2024). Feasibility of producing cheese using buttermilk. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 124-129. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.02.016. EDN: <https://OCXQRL>.

ВВЕДЕНИЕ

Молокоперерабатывающая отрасль Алтайского края объединяет 65 предприятий по переработке молока, в том числе 42 занимаются производством сыра и масла. Производственные мощности способны работать на полную мощность и перерабатывать всё производимое молоко в крае. По уровню производства молока Алтайский край демонстрирует хорошие показатели в агропромышленном комплексе, также организованный закуп молока проводится у населения и КФХ и ИП.

Так, в 2023 году было произведено около 1,14 тыс. тонн молока. Полученные результаты позволили занять четвертое место в России, замыкая пятерку регионов-лидеров и первое среди регионов Сибирского федерального округа [1, 2]. Алтайский край является лидером по производству сельскохозяйственной продукции [3].

Данные поступления молока сырья на перерабатывающие предприятия Алтайского края, а также поступление молока из других регионов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Поступление молока на перерабатывающие предприятия края

Table 1 - Milk supply to the processing enterprises of the region

Показатель	2021 г	2022 г.	2023 г.	2023 г. к 2022 г., в %
Закуплено молока в крае, тыс. тонн	776,7	797,8	797,5	99,96
Поступление молока из других регионов, тыс. тонн	226,4	250,7	229,2	91,42
Поступило молока на переработку, тыс. тонн	972,5	1031	1015,2	98,47

Анализ объема молока, поступившего на переработку за 3 года, свидетельствует о нестабильности сырьевой базы. Так, в 2022 году объемы поступления молока на перерабатывающие предприятия увеличились и составили 1031 тыс. тонн, однако в 2023 году объём поставок сократился на 15,8 тыс. тонн и составил 1015,2 тыс. тонн.

Для увеличения выпуска молочной продукции предприятия Алтайского края закупают молоко в соседних регионах. В 2022 году на территорию Алтайского края было ввезено 250,7 тыс. тонн молока, а в 2023 году объем ввоза молока сократился до 229,2 тыс. тонн.

Таким образом, на переработку в 2023 году поступило 1015,2 тыс. тонн молока, из которых 78,6 % составляет местное сырье и 23 % приходится на молоко, ввозимое из соседних регионов.

Для решения проблемы сырья в крае на государственном уровне действуют механизмы поддержки производителей продукции

животноводства, которые ориентированы на увеличение продуктивности животных, и, в первую очередь, за счет интенсификации производства.

Благодаря реализации инвестиционных проектов в Алтайском крае в 2024 году ожидается рост производства молока более чем на 2 %.

Объемы производства молочной продукции напрямую связаны с поставкой сырья на перерабатывающие предприятия, так объемы производства сыров в 2022 году в Алтайском крае сократились на 9 % и составили 56,9 тыс. тонн.

На производство сыра в 2023 году было направлено 39,5 % от всего поступившего молока. Объем производства сыра составил 65,7 тыс. тонн, что на 9,5 тыс. тонн больше в сравнении с 2022 годом, при этом производство сырного продукта снизилось и составило 19,6 тыс. тонн.

Удельный вес производства алтайского сыра в Сибирском федеральном округе составил 74,3 %, что позволило занять первое место среди регионов СФО и второе место по России.

Стабильная работа предприятий молочной промышленности требует повышения эффективности производства, имеется ряд проблем, которые необходимо решать. Одним из направлений решения данной проблемы является внедрения безотходных технологий, то есть за счет рационального использования сырья [4, 5]. К сожалению, как показывает практика, многие предприятия не используют вообще вторичное молочное сырьё или в лучшем случае используют его частично.

С каждым годом растет потребление сыров, в том числе мягких. По данным Национального союза производителей молока, потребление сыра в 2023 году превысило 1 млн. тонн. По прогнозам аналитиков, доля российских производителей сыра к 2030 году составит более 80 % общего рынка данной категории, а потребление сыра на душу населения составит 9 кг в год.

Необходимо отметить и тот факт, что в XXI веке проблема ожирения коснулась многих слоев населения, независимо от социального статуса, места проживания, пола и уже даже возраста. В настоящее время более одного миллиарда человек имеют проблемы с лишним весом, около 30 % населения в России страдают ожирением, при этом у 25 % отмечен избыточный вес. Для решения этой проблемы пищевой промышленности необходимо разрабатывать и изготавливать низкокалорийные продукты питания, при этом обращать внимание на содержание в них белка.

В процессе производства молочных продуктов по классическим технологиям во вторичное молочное сырьё из молока переходят практически все компоненты, кроме молочного жира [6, 7, 8, 9, 10, 11].

В связи с вышеизложенным, разработка

Таблица 2 – Пищевая ценность сырья / Table 2 - Nutritional value of raw materials

Пищевые вещества	Молоко цельное	Молоко обезжиренное	Пахта
Содержание молочного жира, %	3,7±0,02	0,5±0,01	0,8±0,01
Содержание белков молока, %	3,25±0,03	3,25±0,02	3,22±0,01

Основное отличие вторичного молочного сырья состоит в содержании жира. Так, в пахте массовая доля жира составила 0,8 %, в обезжиренном молоке – 0,5 %. Анализ содержания массовой доли белка свидетельствует о небольшом различии в молоке и вторичном молочном сырьё. Также необходимо отметить, что до 75 % фосфолипидов переходят в пахту, а они обладают биологическими свойствами.

Учитывая состав и содержание в пахте биологических компонентов, стоит необходи-

и внедрение технологии производства мягких сыров с использованием вторичного молочного сырья является актуальным направлением для проведения исследований.

Цель работы – разработка технологии мягкого сыра с использованием пахты.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объектов исследования было использовано следующее сырьё: молоко коровье сырое (ГОСТ 31449-2013); пахта (ГОСТ 34354-2017), полученная от производства сладкосливочного масла «Крестьянское»; обезжиренное молоко (ГОСТ 31658-2012) и готовые образцы мягкого сыра «Монарх». Контрольный образец – мягкий сыр, выработанный из нормализованной смеси (цельное молоко + обезжиренное молоко); экспериментальные образцы: образец 1 – мягкий сыр из нормализованной смеси (цельное молоко + пахта); образец 2 – мягкий сыр на основе пахты.

Оценку органолептических показателей образцов мягкого сыра производили в соответствии с ГОСТ 33630-2015.

Содержание основных веществ определяли на анализаторе «FoodScan™2».

Сыр «Монарх» вырабатывали путем термокислотной коагуляции (ТУ 9225-003-56003329-200) [11].

Образцы сыра вырабатывали по принятой на предприятии технологии, различие состояло в составе смеси.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основные показатели пищевой ценности сырья, используемого для производства образцов мягкого сыра «Монарх», представлены в таблице 2.

мось ее использования при разработке и производстве молочных продуктов, что позволит снизить расход цельного молока.

Образцы сыра вырабатывали по единой технологической схеме путем термокислотной коагуляции. После подготовки сырья его нагревали до температуры 92–95 °С, в качестве коагулянта использовали уксусную кислоту девятипроцентной концентрации, которую вносили при этой же температуре. Нагревание до таких температур обеспечи-

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА СЫРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАХТЫ

вает денатурацию сывороточных белков, а также взаимодействие с казеином, и как итог – совместную их коагуляцию.

Далее проводили перемешивание в течение 5 минут с целью получения термокислотного сгустка и выделения основной части сыворотки.

Затем провели формование и сырные головки подвергли самопрессованию для окончательного удаления излишней сыворотки и придания формы. Самопрессование проводили при температуре 8–10 °С в холодильнике.

Заключительным этапом проводили посолку сыра в рассоле.

Таким образом, независимо от состава смеси технология производства не имеет различий и не требует дополнительных материальных затрат и оборудования.

Состав смеси для производства контрольного и экспериментальных образцов сыра представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Состав смеси для производства сыра

Table 3 - The composition of the mixture for the production of cheese

Показатель	Состав смеси		
	цельное молоко + обезжиренное молоко (контрольный образец)	цельное молоко + пахта (образец 1)	пахта (образец 2)
Всего в том числе, кг.	1000	1000	1000
Молоко цельное, кг	938	932	–
Молоко обезжиренное, кг	62	–	–
Вторичное молочное сырьё (пахта), кг	–	68	1000

Масса смеси для выработки сыра была одинакова, различие были в составе. Так, для выработки контрольного образца нормализацию цельного молока проводили обезжиренным молоком, а для опытного первого вместо обезжиренного молока использовали пахту, во всех вариантах нормализацию проводили до жирности 3,2 %.

Второй экспериментальный образец выработывали полностью из пахты для выявления возможности выработки низкокалорийного сыра.

Для установления расхода сырья на килограмм готового продукта и целесообразно-

сти использования пахты для производства сыра после окончания технологии производства определили массу полученного сыра.

Выход сыра был различен, так, расход сырья для выработки контрольного образца (цельное молоко + обезжиренное) и сыра (цельное молоко + пахта) на килограмм готового продукта был практически одинаков и составил около 7 кг. Масса сыра из пахты была меньше, в связи с чем и расход сырья составил более 9 килограммов.

Готовые образцы сыров представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Готовые образцы сыров: а) контрольный образец; б) образец 1; в) образец 2

Figure 1 - Finished cheese samples: a) control sample, b) sample 1, c) sample 2

Полученные результаты оценки органолептических показателей образцов сыра позволяют сделать следующее заключение.

Поверхность сырных головок была ровная, однако в контрольном образце были от-

мечены единичные желтые пятна, наличие которых допускается для данного сыра.

Вкус и запах всех образцов был чистый, сливочный со вкусом пастеризации.

Консистенция нежная, умеренно плотная,

однородная. Образцы имели глазки различной формы.

Цвет сыра был от белого до светло-желтого.

Образцы сыра в соответствии с ГОСТ 33630-2015 набрали 48–49 баллов из 50 возможных.

Таким образом, использование пахты при

производстве мягкого сыра не приводит к ухудшению его потребительских показателей, все показатели отвечали требованиям ГОСТ 32263-2003.

Результаты определения физико-химических показателей образцов сыра отражены на рисунке 2.

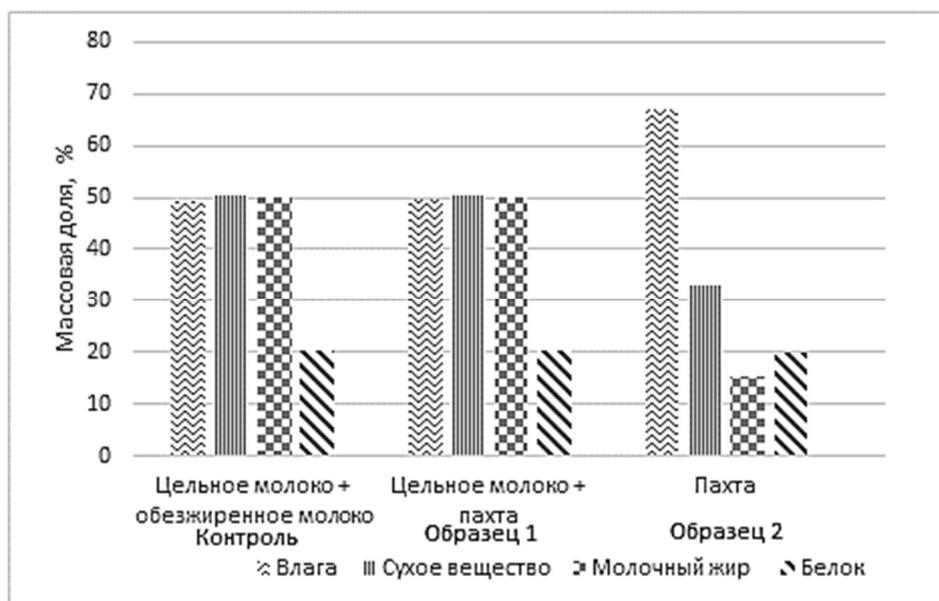


Рисунок 2 – Физико-химические показатели образцов сыра

Figure 2 - Physico-chemical parameters of cheese samples

В контрольном и в образце 1 из нормализованной смеси с использованием пахты массовая доля сухого вещества была практически на одном уровне 50,6–50,65 %, что соответствует требованиям технических условий для сыра «Монарх». В образце 2 сыра, изготовленного на основе пахты, этот показатель составил 32,9 %, что на 17,7–17,75 % меньше относительно сыра, выработанного из нормализованной смеси.

В соответствии с требованиями для данного сорта сыра содержание влаги не должно превышать 60 %. Образцы сыра, выработанного из нормализованной смеси с использованием обезжиренного молока и пахты, соответствуют этим требованиям, а образец, изготовленный из пахты, превышает норму на 7,1 %.

Большие различия наблюдались по содержанию жира. Так, содержание жира в сухом веществе была меньше в образце 2 сыра, приготовленного из пахты – 15,2 %, что позволяет отнести данный продукт к низкокалорийным, диетическим продуктам. В контрольном образце сыра, изготовленном из нормализованной смеси, этот показатель был на уровне 50 %, что соответствует требованиям.

При этом необходимо отметить, что массовая доля белка во всех образцах колеблется незначительно и находилось в пределах от 19,73 до 20,33 %.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований доказана перспективность использования пахты в технологии производства мягкого сыра как для составления нормализованной смеси, так и в качестве основного сырья для производства диетического сыра. Использование пахты также позволит сократить расход молока, расширить ассортиментный ряд и рационально использовать сырье.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рожкова Д.В. К вопросу о проблемах функционирования молочной промышленности Алтайского края // Вестник АГАУ. 2014. № 5 (115). С. 170–172.
2. Гетманец В.Н., Мотненко Е.О. Изменения некоторых параметров в технологии производства сыра Камбер // Инновации и продовольственная безопасность. 2023. № 4 (42). С. 9–17.
3. Сурай Н.М., Язев Г.В., Фасенко Т.Е. Развитие регионального рынка молока и молочной продукции // Алтайский вестник Финиуниверситета. 2017. № 2. С. 68–70.

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА СЫРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАХТЫ

4. Дорошко К.И., Бодрякова Н.П. Особенности образования и утилизации отходов молочной промышленности // Актуальные вопросы зоологии, экологии и охраны природы. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина»; Евроазиатская региональная ассоциация зоопарков и аквариумов; Союз зоопарков и аквариумов России; Московский государственный зоологический парк. Москва, 2023. С. 67–73.

5. Шуварикив А.С., Жукова Е.В., Пастух О.Н. Использование ресурсосберегающих технологий при переработке молока. В сборнике : Ресурсосберегающие технологии при хранении и переработке сельскохозяйственной продукции. Материалы XV Всероссийского (с международным участием) научно-практического семинара. Орёл, 2021. С. 163–168.

6. Автандилян Н.Г., Лодыгин А.Д. Производство продуктов функционального назначения на основе вторичного молочного сырья : Материалы VIII (65-й) ежегодной научно-практической конференции, Ставрополь, 15–30 апреля 2021 года. Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет, 2021. С. 32–36.

7. Бережная Е.А. Современное состояние и перспективы переработки молочной сыворотки // Вестник науки. 2021. № 1 34. С. 132–134.

8. Кривенко Е.И. Ресурсосберегающие управленческие решения как фактор инновационного развития отраслевой промышленности // Региональные проблемы преобразования экономики. 2021. № 7. С. 23–36. doi : 10.26726/1812-7096-2021-7-23-36.

9. Современное состояние рынка вторичных сырьевых ресурсов молочной промышленности / А.Г. Кручинин [и др.]. // Ползуновский вестник. 2022. № 4. т. 1. С. 140–148. doi : 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.04.018. EDN: <https://elibrary.ru/UHSMMD>.

10. Безотходная переработка молочного сырья / К.М. Степанов [и др.] // Молочная промышленность. 2020. № 2. С. 43–44.

11. ТР ТС033/2013. О безопасности молока и молочной продукции. Режим доступа : URL. <https://mosrst.ru/wp-content/uploads/2020/02/tr-ts-033-2013.pdf> (дата обращения 19.05.2023).

12. ТУ 9225-003-56003329-2003 «Монарх», зарегистрировано 16 мая 2018.

Информация об авторах

В. Н. Гетманец – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры технологии производства и переработки продукции животноводства Алтайского государственного аграрного университета.

REFERENCES

1. Rozhkova, D.V. (2014). On the problems of functioning of the dairy industry of the Altai Territory. AGAU Bulletin. 5 (115). 170-172. (In Russ.).
2. Getmanets, V.N. & Motnenko, E. (2023). On Changes in

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 23 ноября 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 06 мая 2024.

The article was received by the editorial board on 23 Nov 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 06 May 2024.

some parameters in the technology of Camembert cheese production. Innovation and food security.4 (42). 9-17. (In Russ.).

3. Surai, N.M., Yazev, G.V. & Fassenko, T.E. (2017). Development of the regional market of milk and dairy products. Altai Bulletin of the Financial University. (2). 68-70. (In Russ.).

4. Doroshko, K.I. & Bodryakova, N.P. (2023). Peculiarities of formation and utilization of waste products of the dairy industry. Topical issues of zoology, ecology and nature conservation. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology - MBA named after K.I. Scriabin"; Eurasian Regional Association of Zoos and Aquariums; Union of Zoos and Aquariums of Russia; Moscow State Zoological Park. Moscow. 67-73. (In Russ.).

5. Shuvarikov, A.S., Zhukova, E.V. & Pastukh, O.N. (2021). Use of resource-saving technologies in milk processing. In the collection: Resource-saving technologies for the storage and processing of agricultural products. Materials of the XV All-Russian (with international participation) scientific and practical seminar. Eagle, 163-168. (In Russ.).

6. Avtandilian, N.G. & Lodygin, A.D. (2021). Production of functional products based on secondary dairy raw materials : Materials of the VIII (65th) Annual Scientific and Practical Conference, Stavropol, April 15-30, 2021. Stavropol : North Caucasus Federal University.32-36. (In Russ.).

7. Berezhnaya, E.A. (2021). The current state and prospects of whey processing. Bulletin of Science. 1 34. 132-134. (In Russ.).

8. Krivenko, E.I. (2021). Resource-saving management decisions as a factor innovative development of the industrial sector. Regional problems of economic transformation, (7) 23-36. (In Russ.). doi : 10.26726/1812-7096-2021-7-23-36.

9. Kruchinin, A.G., Bigaeva, A.V., Turovskaya, S.N. & Illarionova, E.E. (2022). Current state of the market of secondary raw material resources of the dairy industry. Polzunovskiy vestnik, 4 (1), 140-148. (In Russ.). doi : 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.04.018. EDN: <https://elibrary.ru/UHSMMD>.

10. Stepanov, K.M., Darmayeva, G.G., Khankhaldayeva, S.G. & Vasil'yeva, S.S. (2020). Non-waste processing of dairy raw materials. Molochnaya promyshlennost' [Dairy industry], (2), 43-44. (in Russ.).

11. On the safety of milk and dairy products. (2013). TR CU 033/2013. Retrieved from <https://docs.cntd.ru/document/499050562>. <https://mosrst.ru/wp-content/uploads/2020/02/tr-ts-033-2013.pdf> (In Russ.).

12. ТУ 9225-003-56003329-2003 "Monarch" from 16.05.18. (In Russ.).

Information about the authors

V.N. Getmanets - the candidate of agricultural Sciences, associate Professor, Federal state budgetary educational institution of higher professional education «Altai State Agricultural University», Professor of chair of technology of production and processing of livestock products.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.143: 633.85
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.017



РАЗРАБОТКА МУЧНЫХ ВОСТОЧНЫХ СЛАДОСТЕЙ ЗЕМЕЛАХ И КИХЕЛАХ ПОВЫШЕННОЙ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ

Игорь Владимирович Лозовский¹, Софья Антоновна Халабурдина²,
Татьяна Владимировна Орлова³

1, 2, 3 ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина»,
Краснодар, Россия

¹ l_ighor@mail.ru

² sofya.grondaa@gmail.com

³ schekoldina_tv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1496-9106>

Аннотация. Разработаны рецептуры мучных восточных сладостей земелах и кихелах повышенной пищевой ценности, обогащенные гороховой мукой. Установлено, что гороховая мука отличается высоким содержанием белка 22,9 %, клетчатки 11,1 %, липидов 1,6 %, витаминов, микро- и макроэлементов, что определяет перспективность ее использования для повышения пищевой ценности мучных восточных сладостей. Исследовано влияние муки гороховой на хлебопекарные свойства пшеничной муки и качество готовых мучных восточных сладостей, проведена их органолептическая и физико-химическая оценка. Установлена дозировка муки гороховой, позволяющая сохранить высокие показатели качества. Отмечено, что внесение гороховой муки в рецептуру мучных восточных сладостей увеличивает количество белков на 22,5 %, пищевых волокон – на 40 % и изменяет витаминный и минеральный состав: повышается содержание витаминов В₁ на 47,1 %, В₂ – в 2 раза, Е – на 90 %, РР – на 80,5 %, Fe – на 33,3 %, Си – в 2,9 раза, Sn – в 4,4 раза, Са – на 24,1 %, Mg – на 81,3 % и Р – 48,1 %, что в целом повышает пищевую ценность разработанных изделий. Представленные в работе рецептурные решения производства земелаха и кихелаха с использованием муки гороховой могут быть рекомендованы для расширения ассортимента мучных кондитерских изделий повышенной пищевой ценности.

Ключевые слова: мучные восточные сладости, земелах, кихелах, мука гороховая, оценка качества, пищевая ценность.

Для цитирования: Лозовский И. В., Халабурдина С. А., Орлова Т. В. Разработка мучных восточных сладостей земелах и кихелах повышенной пищевой ценности // Ползуновский вестник. 2024. № 2, С. 130–139. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.017. EDN: <https://elibrary.ru/BMMFHB>.

Original article

DEVELOPMENT OF FLOUR ORIENTAL SWEETS ZEMELAKH AND KIKHELAKH OF INCREASED NUTRITIONAL VALUE

Igor V. Lozovsky¹, Sofia A. Khalaburdina², Tatyana V. Orlova³

1, 2, 3 FSBEIHE "Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia

¹ l_ighor@mail.ru

² sofya.grondaa@gmail.com

³ schekoldina_tv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1496-9106>

Abstract. Recipes for floury oriental sweets zemelakh and kikhelakh of increased nutritional value, enriched with pea flour, have been developed. It has been established that pea flour has a high content of protein 22.9%, fiber 11.1%, lipids 1.6%, vitamins, micro- and macroelements, which determines the prospects for its use to increase the nutritional value of flour oriental sweets. The influence of pea flour on the baking properties of wheat flour and the quality of ready-made flour oriental sweets

© Лозовский И. В., Халабурдина С. А., Орлова Т. В., 2024

was studied, their organoleptic and physico-chemical evaluation was carried out. The dosage of pea flour has been established, which allows maintaining high quality indicators. It was noted that the introduction of pea flour into the recipe of flour oriental sweets increases the amount of proteins by 22.5 %, dietary fiber - by 40% and changes the vitamin and mineral composition: the content of vitamins B1 increases by 47.1%, B2 - 2 times, E - by 90%, PP - by 80.5%, Fe - by 33.3%, Cu - by 2.9 times, Sn - by 4.4 times, Ca - by 24.1%, Mg - by 81.3 % and P - 48.1%, which generally increases the nutritional value of the developed products. The recipe solutions for the production of zemelakh and kikhelakh presented in the paper using pea flour can be recommended for expanding the range of flour confectionery products with increased nutritional value.

Keywords: oriental flour sweets, zemelakh, kikhelakh, pea flour, quality assessment, nutritional value.

Forcitation: Lozovsky, I.V., Khalaburdina, S.A., Orlova, T.V. (2024). *Polzunovskiy vestnik*, (2), 130-139. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.02.017. EDN: <https://BMMFHB>.

ВВЕДЕНИЕ

Мучные восточные изделия относятся к кондитерским изделиям, рецептурный состав которых содержит большое количество сахаристых и молочных продуктов, яиц, фруктов, орехов, пряностей, обеспечивающих высокую пищевую ценность, однако некоторая часть сладостей состоит из муки, масла, сахарной пудры и, несмотря на их высокую калорийность, обусловленную углеводным или липидным составом, нуждаются в дополнительном обогащении основными пищевыми веществами.

Изучению возможности повышения пищевой ценности мучных восточных сладостей посвящены многие исследования. Авторами [1] предложен способ приготовления сладостей чак-чак с использованием в качестве сиропа-связки кленового сиропа, порошка топинамбура, содержащего пребиотик инулин, маннита в качестве разделителя и антислеживателя, мальтозной патоки для улучшения реологических свойств и проведение кавитационно-кумулятивной обработки смеси. По данным [2], расширение ассортимента восточных сладостей и повышение их пищевой ценности возможно путем внесения в рецептуру земелаха муки соевой текстурированной и тыквенных семечек.

Известен способ производства восточных мучных сладостей типа гата с использованием смеси муки пшеничной первого сорта, ячменной, соевой и амарантовой. Начинку готовят из измельченных фиников и сиропа топинамбура вместо сахара. Мучные сладости типа гата отличаются повышенной пищевой ценностью, отсутствием сахара в рецептуре и рекомендуются для расширения ассортимента кондитерских изделий [3].

По данным [4], замена пчелиного меда на арбузный сироп способствует не только снижению калорийности и аллергенности продукта, но и повышению его пищевой ценности благодаря входящим в химический со-

став арбузного сиропа витаминам группы В, витаминам С и РР, фолиевой кислоты, кальция, калия, магния, натрия, фосфора и железа.

Сотрудниками Сибирского федерального университета (г. Красноярск) и Красноярского ГАУ (г. Красноярск) отмечено, что внесение в рецептурный состав пахлавы до 5 % кукурузной муки также способствует улучшению показателей качества и повышению пищевой ценности изделий, а также сокращению процесса брожения [5].

Сотрудниками КамГТУ (г. Петропавловск-Камчатский) разработаны рецептуры восточных мучных сладостей типа печенья шакерчурек с дикорастущими ягодами (брусника, жимолость, рябина). Авторами отмечено, что обогащение печенья ягодами способствует уменьшению содержания жира, а, следовательно, и снижению калорийности, и увеличению содержания минеральных веществ [6].

Вопросами обогащения рецептурного состава шакерчурек посвящены работы сотрудников КубГАУ имени И.Т. Трубилина (г. Краснодар) [7]. Разработанная рецептура шакерчурек с использованием 15 % муки конопляной позволяет сохранить оптимальные органолептические и физико-химические свойства, увеличить количество протеина, пищевых волокон, минеральных веществ. Рецептурные решения производства восточных сладостей шакерчурек с мукой конопляной обладают повышенной пищевой ценностью и рекомендуются для расширения ассортимента кондитерских изделий.

Одним из перспективных видов сырья для повышения пищевой ценности восточных сладостей является мука гороховая. Горох (*Pisum sativum*) является однолетним растением семейства Fabaceae. Горох является одной из восьми так называемых «культур-основателей» и одной из первых одомашненных культур. Самые ранние археологические находки гороха относятся к эпохе позднего неолита на территории Ближнего Востока

(Сирии, Иордании, Афганистана, Пакистана, Индии). В Европу горох завезли в 17 веке.

Крупнейшие производители зеленого горошка на сегодняшний день – Китай, Индия и США. К основным странам-производителям сушеного гороха на мировом рынке относятся Канада, Россия, ЕС и Китай. При этом Китай является и основным импортером сушеного гороха (26,8 % от мирового импорта в стоимостном выражении), далее сушеный горох ввозит Пакистан, Индия и Бангладеш [8].

Горох – богатый источник основных питательных веществ. В зависимости от сорта, региона произрастания и сопутствующих факторов в нем содержится 21–32 % белков, 36–46 % крахмала, 14–21 % пищевых волокон, до 2,4 % липидов и 3,4 % минеральных веществ, представленными калием, фосфором, магнием, кальцием, железом и селеном, фолиевой кислотой, витаминами В₁, В₂ и В₉ [9].

Горох является ценным источником белка. Белки гороха относятся к запасным белкам и отличаются полным содержанием незаменимых аминокислот. Гороховый белок на 65–80 % представлен глобулинами и на 10–20 % альбуминами. Входящая в глобулины фракция вицилина имеет низкие концентрации серосодержащих аминокислот (метионин, цистеин), триптофана и высокие концентрации основных (аргинин, лизин) и кислых (аспарагиновая и глутаминовая кислоты) аминокислот. Поэтому для обеспечения полного и сбалансированного набора аминокислот рекомендуется дополнять белок гороха белком злаков, так как злаки, наоборот, богаты серосодержащими аминокислотами, но ограничены лизином. Высокой степени усвояемости белка гороха мешает присутствие ингибитора протеазы, однако усвояемость белка гороха все равно выше, чем сои и некоторых других бобовых культур [10].

Функциональные свойства горохового белка зависят от методов экстракции и последующей модификации. По данным [11], белок гороха обладает более высокими эмульгирующими и пенообразующими свойствами, чем соевый белок при нейтральной pH. В настоящее время спрос на растительные белки неуклонно растет.

Белок гороха считается высококачественным и функциональным ингредиентом из-за его низкой аллергенности, доступности и получения устойчивого урожая в самых разных частях мира. Его можно использовать как пищевой эмульгатор, для инкапсуляции биоактивных ингредиентов (β -токоферол, рибофлавин, линоленовая кислота, докозагексаеновая кислота). Перспективным направлением использования белка гороха является создание пищевых биоразлага-

емых пленок. Протеин гороха не содержит глютен, поэтому подходит для питания людей, страдающих целиакией (непереносимостью пшеничного белка).

Основным компонентом гороха является крахмал, который, как и большинство крахмалистых бобовых, содержит промежуточный уровень амилозы, что отражается в его уникальной функциональности, высокой ферменторезистентности и медленной усвояемости (по сравнению с зерновыми и клубнеплодными крахмалами). Относительно низкая усваиваемость крахмала гороха также объясняется недоступностью амилаз гранул крахмала, заключенных в неповрежденных структурах клеточной стенки, наличием антипитательных веществ и высоким содержанием пищевых волокон [9].

По данным [11], основное количество липидов в горохе представлено пятью жирными кислотами в порядке убывания: линолевой, олеиновой, пальмитиновой, линоленовой и стеариновой. Также были определены следы других жирных кислот (ω -6 ненасыщенных жирных кислот: эруковой, арахидиновой).

Пищевые волокна гороха образуются как из семенной оболочки (целлюлозы), так и из семян (гемицеллюлозы, пектина). Высокое содержание клетчатки в горохе снижает гликемический индекс и может играть важную роль в лечении диабета 2 типа. Пищевые волокна гороха за счет реасорбции желчных кислот могут снижать уровень холестерина в крови. Горох содержит раффинозные и другие галактозосодержащие олигосахариды, которые могут проявлять пребиотические свойства в кишечнике [9].

Минеральный состав гороха отличается высоким содержанием натрия, фосфора, калия, магния, кальция, цинка и железа. Важным микроэлементом в горохе является селен, принимающий участие в работе антиоксидантной системы организма и гормональном обмене щитовидной железы. Несмотря на высокое содержание минералов в горохе, их биодоступность может быть ограничена из-за наличия фитатов, действующих как ингибиторы. Однако исследования [12] показали, что фитаты оказывали влияние на железо, а доступность кальция и цинка оставалась высокой. Горох, как и другие бобовые, кроме фитатов содержит фенольные соединения, сапонины и оксалаты. В горохе фенольные соединения встречаются в семенной оболочке, особенно в сортах с темными семенами. Фенольные соединения признаны мощными природными антиоксидантами.

Мука, полученная из гороха, обладает уникальным питательным профилем (высокое содержание белка, углеводов, фолиевой кис-

РАЗРАБОТКА МУЧНЫХ ВОСТОЧНЫХ СЛАДОСТЕЙ ЗЕМЕЛАХ И КИХЕЛАХ ПОВЫШЕННОЙ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ

лоты и микронутриентов), однако она, как и другая мука из бобовых, имеет нежелательный вкус или посторонний привкус, который и ограничивает потенциальное использование продуктов переработки гороха и снижает его рыночную стоимость. Характерный привкус гороха и продуктов его переработки обусловлен комбинацией соединений фарома (летучих органических соединений) и различных вкусовых соединений, которые могут образовываться в результате окисления липидов и деградации некоторых аминокислот (альдегидов, спиртов, кетонов, фуранов). Для достижения минимального уровня нежелательных летучих веществ помол гороха в муку должен тщательно контролироваться, так как чем крупнее частицы, тем труднее они выделяют летучие вещества, но горечь их может увеличиваться [11]. Однако до сих пор остается неясным, в какой момент происходит взаимодействие большого количества летучих соединений и окисления: есть компоненты аромата, которые естественным образом встречаются в горохе (пиразины), другие могут образовываться в процессе переработки. Профиль аромата и вкуса гороха необходимо разделить на естественный аромат и аромат, полученный обработкой гороха в технологической цепочке.

В настоящее время отечественные и зарубежные ученые активно используют гороховую муку для повышения биологической ценно-

сти и улучшения функционально-технологических свойств пищевых продуктов [12, 13, 14].

Однако в научной литературе отсутствуют сведения об использовании муки гороховой в технологии восточных мучных сладостей. Гороховая мука отличается уникальным химическим составом, что обуславливает перспективность ее использования в производстве мучных восточных сладостей повышенной пищевой ценности.

Цель исследований заключается в разработке рецептур мучных восточных сладостей с использованием муки гороховой, которая позволит повысить пищевую ценность изделий и сохранить их восточный колорит.

МЕТОДЫ

В работе использовали общепринятые и стандартные методы. Расчетным путем определяли пищевую ценность и уровень удовлетворения суточной потребности организма человека в основных пищевых веществах при употреблении 100 г разработанных изделий различными категориями населения. Результаты исследований подвергали математической обработке (Statistica 10.0 for Windows).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для определения возможности использования гороховой муки в рецептурах мучных восточных сладостей был изучен ее химический состав (таблица 1).

Таблица 1 – Химический состав муки гороховой и муки пшеничной высшего сорта
Table 1 - Chemical composition of pea flour and wheat flour of the highest grade

Наименование сырья	Значение показателя, %				
	Белок	Липиды	Крахмал	Клетчатка	Зола
Мука гороховая	22,9	1,6	49,3	11,1	2,6
Мука пшеничная высшего сорта	10,3	1,2	70,1	2,3	0,43

В результате анализа таблицы 1 установлено, что мука гороховая превосходит муку пшеничную по содержанию липидов в 1,3 раза, белка – в 2,2 раза, клетчатки – в 4,8 раз, липидов – в 6 раз, отличаясь при этом пониженным содержанием крахмала, что обуславливает целесообразность ее использования для повышения пищевой ценности мучных восточных сладостей.

Было исследовано влияние гороховой муки на хлебопекарные свойства муки пшеничной высшего сорта. Дозировки муки гороховой составили от 8 % до 16 % с шагом 2 % к общей массе муки пшеничной.

Влияние различных дозировок муки гороховой на показатели качества клейковины муки пшеничной высшего сорта представлено на рисунке 1.

На рисунке 1 отмечено равномерное снижение массовой доли сырой клейковины с

увеличением дозировки гороховой муки, что, вероятно, обусловлено частичным вовлечением в белковый комплекс отмываемой клейковины белков муки гороховой, отличающейся отсутствием глютелиновой фракции.

Установлено, что при добавлении 8 % муки гороховой качество клейковины остается на уровне контрольного образца (I группа, хорошая), с внесением 10 %, 12 % и 14 % муки гороховой клейковина описывается II группой качества (удовлетворительная слабая), а с добавлением максимальной дозировки муки гороховой (16 %) качество клейковины переходит в III группу качества (неудовлетворительная слабая). Такое расслабление клейковины обусловлено не только снижением ее общего содержания, но, и, вероятно, внесением в тесто вместе с мукой гороховой большого количества водорастворимых веществ.

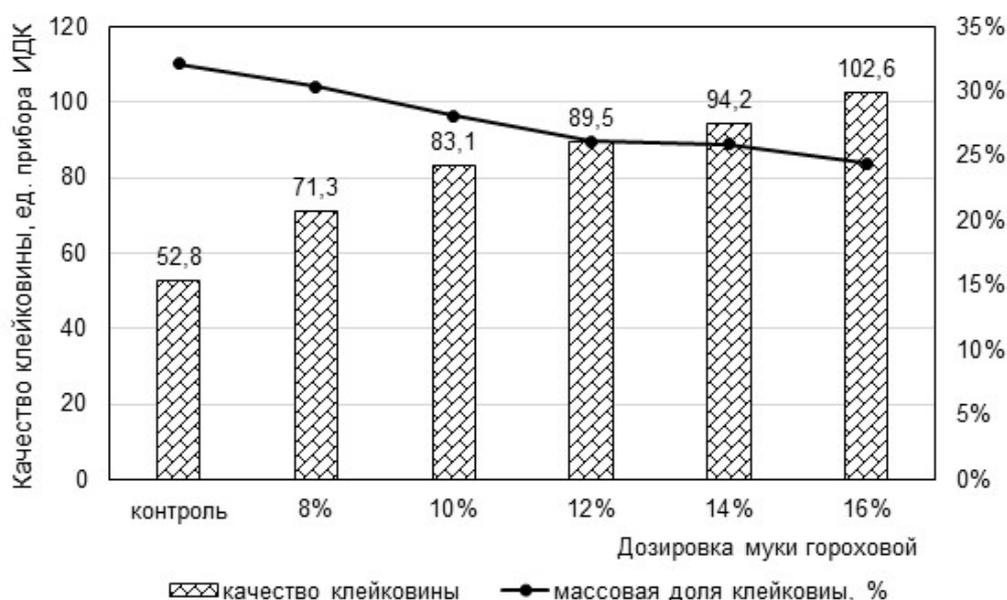


Рисунок 1 – Влияние различных дозировок муки гороховой на показатели качества клейковины

Figure 1 - Influence of different dosages of pea flour on gluten quality indicators

Состояние углеводно-амилазного комплекса мучных смесей с различными дозировками муки гороховой оценивали с помощью показателя «число падения». Контролем служил образец пшеничной муки без добавок. И если углеводно-амилазный комплекс пшеничной муки исследован хорошо, то амилолитическая активность гороховой муки практически не изучена. Поэтому дополнительно определяли число падения гороховой муки.

Результаты исследований представлены на рисунке 2.

В результате анализа рисунка 2 установлено, что число падения муки гороховой

составляет 143 с, что свидетельствует о высокой активности α -амилазы. Такое значение числа падения характерно для некоторых сортов ржаной муки, а с учетом отсутствия в муке гороховой клейковинных белков можно предположить, что тесто из муки гороховой будет расплываться и не держать форму. Отмечено, что число падения мучных смесей с 8 %, 10 %, 12 %, 14 % и 16 % муки гороховой составило 280 с, 251 с, 219 с, 190 с и 168 с соответственно, что свидетельствует о том, что мука гороховая оказывает влияние на амилолитическую активность мучных смесей.

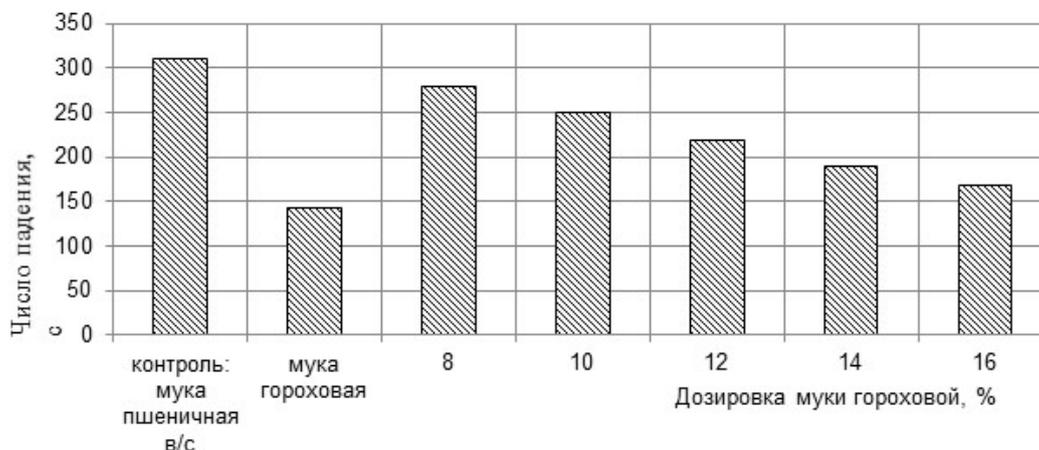


Рисунок 2 – Влияние муки гороховой на амилолитическую активность мучных смесей

Figure 2 - The effect of pea flour on the amylolytic activity of flour mixtures

РАЗРАБОТКА МУЧНЫХ ВОСТОЧНЫХ СЛАДОСТЕЙ ЗЕМЕЛАХ И КИХЕЛАХ ПОВЫШЕННОЙ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ

При внесении указанного выше количества муки гороховой амилолитическая активность смесей возрастает на 10,7 %, 23,5 %, 41,5 %, 63,1 % и 84,5 % по сравнению с контрольным образцом.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что мука гороховая оказывает влияние на хлебопекарные свойства муки пшеничной: с увеличением дозировки муки гороховой происходит снижение массовой доли сырой клейковины, ее ослабление и возрастание амилолитической активности мучных смесей. Диапазон дозировок муки гороховой был выбран 8–14 % к общей массе пшеничной муки. Свыше 14 % качество клейковины становилось неудовлетворительно слабым (102,6 ед. прибора ИДК), амилолитическая активность очень сильно возрастала (на 84,5 % по сравнению с контрольным образцом), что исключало дальнейшее использование в работе дозировки гороховой муки, равной 16 %. Однако и выбранный диапазон дозировок муки гороховой требует корректировки ведения технологических процессов и принятия дополнительных технологических решений для связывания свободной влаги в тесте, укрепления его структуры.

В дальнейшем было изучено влияние муки гороховой на качество мучных восточных сладостей. За контрольные образцы были использованы рецептуры национальных кондитерских изделий евреев-ашкеназов земелах и кихелах ванильный.

Земелах представляет собой сдобное печенье ромбовидной или квадратной формы, поверхность которого обсыпана сахаром-песком с корицей. Кихелах же имеет форму ромба, в его рецептуру входит ванилин, и поверхность обсыпана только сахаром-песком. В целом рецептурный состав изделий одинаковый и отличается только соотношением компонентов.

На основании проведенных ранее исследований влияния муки гороховой на хлебопе-

карные свойства пшеничной муки для связывания свободной влаги в тесте и укрепления его структуры принято решение о дополнительном внесении в рецептуры разрабатываемых изделий гуаровой камеди. Гуаровая камедь является натуральным загустителем, безопасной пищевой добавкой, которую получают из семян зернобобовой культуры *Cyamopsis tetraganobola* (гороховое дерево), произрастающей в азиатских странах: Индии, Пакистане.

Приготовление земелаха: все сырье, предварительно подготовленное, кроме муки, тщательно перемешивают до однородного состояния, затем вносят муку пшеничную или мучную смесь: образец 1: 92 % муки пшеничной высшего сорта + 8 % муки гороховой; образец 2: 90 % муки пшеничной высшего сорта + 10 % муки гороховой; образец 3: 88 % муки пшеничной высшего сорта + 12 % муки гороховой; образец 4: 86 % муки пшеничной высшего сорта + 14 % муки гороховой. Тесто перемешивают в течение 2–3 минут. Температура и влажность теста составляют 17–20 °С и 20–23 % соответственно. Готовое тесто делят на крупные куски и вручную раскатывают на пласт толщиной 5–6 мм. Раскатанный пласт сверху смазывают яйцом и посыпают сахаром-песком с корицей, затем нарезают на ромбы с размерами сторон 40–45 мм, аккуратно укладывают на листы на противни и выпекают при температуре 200 °С в течение 10 мин. Приготовление кихелаха: замес теста и его разделка осуществляется аналогично земелаху. Отличие заключается в том, что смазанная поверхность раскатанного пласта теста посыпается только сахаром-песком.

Органолептическую оценку показателей качества готовых мучных восточных сладостей с мукой гороховой определяли с помощью дегустационного анализа и расчета комплексного показателя качества. Результаты представлены в таблице 2 и на рисунках 3 и 4.

Таблица 2 – Органолептические показатели качества мучных восточных сладостей

Table 2 - Organoleptic quality indicators of flour oriental sweets

Показатели	Контрольный образец	Образец 1: 8 % муки гороховой	Образец 2: 10 % муки гороховой	Образец 3: 12 % муки гороховой	Образец 4: 14 % муки гороховой
1	2	3	4	5	6
ЗЕМЕЛАХ					
Форма	Правильная, без вмятин				
Поверхность	Шероховатая с наличием вкраплений кристаллов сахара и вкраплений частиц корицы	Шероховатая с наличием вкраплений кристаллов сахара и вкраплений частиц корицы	Шероховатая с наличием вкраплений кристаллов сахара и вкраплений частиц корицы	Шероховатая с наличием вкраплений кристаллов сахара и вкраплений частиц корицы	Шероховатая с наличием вкраплений кристаллов сахара и вкраплений частиц корицы

Продолжение таблицы 2 / Continuation of table 2

1	2	3	4	5	6
Вид в изломе	Пропеченный, пористость равномерная	Пропеченный, пористость равномерная	Пропеченный, пористость равномерная	Пропеченный, пористость равномерная	Пропеченный, пористость равномерная
Цвет	Светло-желтый. Поверхность изделий светло-коричневая с проступающими кристаллами сахара за счет посыпки корицы и сахара-песка	Светло-желтый. Поверхность изделий светло-коричневая с проступающими кристаллами сахара за счет посыпки корицы и сахара-песка	Желтый. Поверхность изделий светло-коричневая с проступающими кристаллами сахара за счет посыпки корицы и сахара-песка	Желтый. Поверхность изделий светло-коричневая с проступающими кристаллами сахара за счет посыпки корицы и сахара-песка	Желтый. Поверхность изделий светло-коричневая с проступающими кристаллами сахара за счет посыпки корицы и сахара-песка
Запах	Свойственный	Свойственный корице	Свойственный корице, слабо ощущается запах муки гороховой	Свойственный корице, ощущается запах муки гороховой	Свойственный корице, сильно ощущается запах муки гороховой
Вкус	Свойственный	Свойственный корице	Слегка ощущается специфический вкус муки гороховой	Слегка ощущается специфический вкус муки гороховой	Ощущается специфический вкус муки гороховой
КИХЕЛАХ					
Форма	Правильная, без вмятин	Правильная, без вмятин	Правильная, без вмятин	Правильная, без вмятин	Правильная, без вмятин
Поверхность	Шероховатая	Шероховатая с наличием сахара	Шероховатая с наличием сахара	Шероховатая с наличием сахара	Шероховатая с наличием сахара
Вид в изломе	Пропеченный, пористость равномерная	Пропеченный, пористость равномерная	Пропеченный, пористость равномерная	Пропеченный, пористость равномерная	Пропеченный, пористость равномерная
Цвет	Светло-желтый, с белыми кристаллами сахара на поверхности	Светло-желтый, с белыми кристаллами сахара на поверхности	Желтый, с белыми кристаллами сахара на поверхности	Желтый, с белыми кристаллами сахара на поверхности	Желтый, с белыми кристаллами сахара на поверхности
Запах	Свойственный	Свойственный ванилину	Свойственный ванилину, ощущается запах муки гороховой	Свойственный ванилину, ощущается запах муки гороховой	Свойственный ванилину, сильно ощущается запах муки гороховой
Вкус	Свойственный	Свойственный ванилину	Слегка ощущается специфический вкус муки гороховой	Слегка ощущается специфический вкус муки гороховой	Сильно ощущается специфический вкус муки гороховой

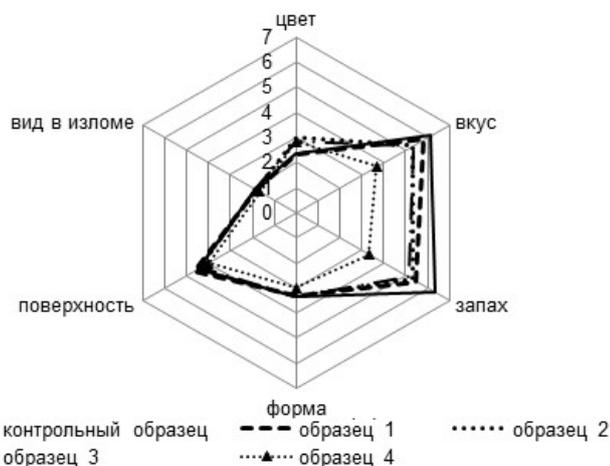


Рисунок 3 – Органолептическая оценка качества муковых восточных сладостей *zemelakh*

Figure 3 - Organoleptic evaluation of the quality of flour oriental sweets *zemelakh*

РАЗРАБОТКА МУЧНЫХ ВОСТОЧНЫХ СЛАДОСТЕЙ ЗЕМЕЛАХ И КИХЕЛАХ ПОВЫШЕННОЙ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ

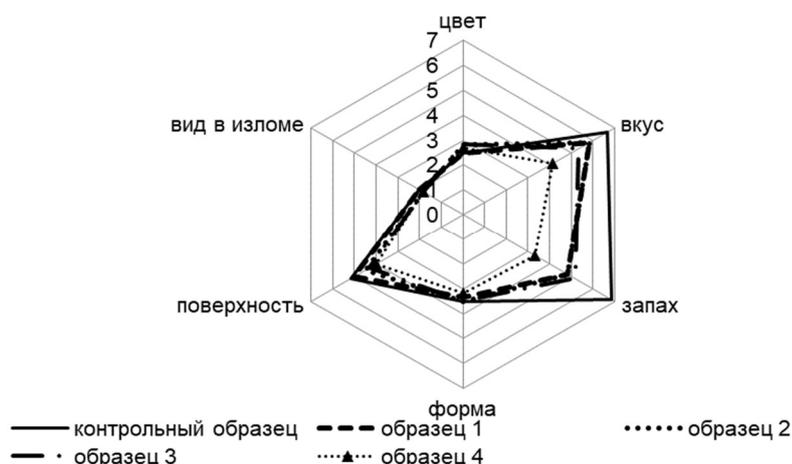


Рисунок 4 – Органолептическая оценка качества мучных восточных сладостей кихелах

Figure 4 - Organoleptic evaluation of the quality of flour oriental sweets kikhelakh

В результате анализа таблицы 2 и рисунков 3 и 4 отмечено, что внесение любого количества муки гороховой не оказывает видимого отрицательного влияния на форму, поверхность и вид готовых сладостей. Отмечено, что добавление 8 % муки гороховой также не оказывает ощутимого влияния на цвет, вкус и запах земелаха и кихелаха. При внесении 10 % и 12 % муки гороховой визуально отмечено усиление желтого цвета и появление слегка специфического запаха и вкуса гороховой муки в готовых изделиях.

Добавление 14 % муки гороховой способствует уже яркому проявлению специфического запаха и вкуса гороховой муки, особенно в период выпечки и охлаждения готовых изделий. При этом в земелахе с корицей специфический запах и вкус гороховой муки проявляются значительно слабее, чем в кихелахе с ванилином, а спустя сутки – практически не ощущаются, тогда как в кихелахе таких изменений не отмечается.

Отмечая резкое снижение рассчитанного комплексного показателя качества земелаха (на 33,7 %) и кихелаха (на 30,6 %) с 14 % муки гороховой, было принято решение исключить дозировку в дальнейших исследованиях.

Одним из важных коэффициентов весо-мности для мучных кондитерских изделий, а значит и для мучных восточных сладостей, обогащенных мукой гороховой, является их вкус и запах (особенно с учетом специфического вкуса и запаха муки гороховой). Поэтому сравнительный анализ суммарных значений комплексных показателей качества мучных восточных сладостей земелаха и кихелаха по вкусу и запаху для образцов с 8 %, 10 % и 12 % муки гороховой показал, что по вкусу и запаху они практически не отличаются между собой.

На заключительном этапе оценки качества мучных восточных сладостей земелаха и кихелаха определяли их физико-химические показатели (табл. 3).

Таблица 3 – Физико-химические показатели качества земелаха и кихелаха с мукой гороховой

Table 3 - Physico-chemical indicators of the quality of flour oriental sweets zemelakh and kikhelakh with pea flour

Показатели качества	Контроль- ный обра- зец	Образец 1: 8 % муки гороховой	Образец 2: 10 % муки гороховой	Образец 3 12 % муки гороховой
1	2	3	4	5
Земелах				
Влажность, %	7,8	7,6	7,2	7,0
Массовая доля общего сахара (по сахарозе) в перерасчете на сухое вещество, %	32,4	30,3	30,4	30,8
Массовая доля жира в перерасчете на сухое вещество, %	17,1	15,9	15,6	15,3
Намокаемость, %	162	160	157	153
Щелочность, град	1,8	1,8	1,8	1,8
Кихелах				
Влажность, %	7,9	7,7	7,4	7,2

Продолжение таблицы 3 / Continuation of table 3

1	2	3	4	5
Массовая доля общего сахара (по сахарозе) в перерасчете на сухое вещество, %	38,3	35,7	35,1	34,4
Массовая доля жира в перерасчете на сухое вещество, %	7,7	7,2	7,1	7,01
Намокаемость, %	155	151	148	146
Щелочность, град	1,9	1,9	1,9	1,9

В результате анализа таблицы 3 установлено, что с увеличением дозировки муки гороховой незначительно снижается влажность, массовая доля сахара, жира и намокаемость готовых изделий, что обусловлено их рецептурным составом.

Таким образом, на основании проведенных исследований и с учетом поставленной цели повышения пищевой ценности восточных мучных сладостей была выбрана максимальная дозировка муки гороховой, равная

12 % как для мучных восточных сладостей земелах, так и для мучных восточных сладостей кихелах. В дальнейшем изделия получили названия мучные восточные сладости земелах «Ильинец» и мучные восточные сладости кихелах «Покровчанин»

Далее был проведен расчёт содержания основных пищевых веществ в 100 г земелаха «Ильинец» и кихелаха «Покровчанин» (табл. 4).

Таблица 4 – Пищевая ценность земелах «Ильинец» и кихелах «Покровчанин»

Table 4 - Nutritional value of zemelakh «Ilinez» and kikhelakh «Pokrovchanin»

Пищевые вещества	Земелах		Кихелах	
	Контрольный образец	Земелах «Ильинец»	Контрольный образец	Кихелах «Покровчанин»
Белки, г/100 г	8,0	9,8	7,0	8,9
Жиры, г/100 г	18,0	15,3	7,5	7,01
Углеводы, г/100 г, в том числе:	65,0	62,0	75,0	70,8
пищевые волокна	1,7	2,4	1,9	2,56
Энергетическая ценность, ккал	454	425	400	382
Витамины, мг/100 г:				
B ₁	0,17	0,25	0,16	0,23
B ₂	0,05	0,10	0,04	0,08
E	0,90	1,71	0,84	1,59
PP	0,41	0,74	0,41	0,74
Микро- и макроэлементы, мг/100 г:				
Fe	4,2	5,6	4,2	5,6
Cu, мкг	0,3	0,87	0,28	0,81
Sn, мкг	0,36	1,6	0,25	1,1
Ca	79,0	98,0	59,0	73,2
Mg	46,5	84,3	46,5	84,3
P	131,1	194,1	104,0	154,1

В результате анализа таблицы 4 установлено, что добавление муки гороховой приводит к изменению химического состава: в земелахе «Ильинец» и кихелахе «Покровчанин» увеличивается содержание белков на 22,5 % и 27,1 % соответственно, пищевых волокон – на 40 % и 34,7 % соответственно, незначительно уменьшается содержание жиров и углеводов, что в целом способствует снижению калорийности разработанных изделий.

Установлено, что внесение гороховой муки в рецептуру земелаха «Ильинец» и кихелаха «Покровчанин» моделирует их витаминный и минеральный состав: увеличивается содержание витаминов B₁ на 47,1 %, B₂ – в 2 раза, E – на 90 %, PP – на 80,5 %, Fe – на 33,3 %, Cu – в 2,9 раза, Sn – в 4,4 раза, Ca – на 24,1 %, Mg – на 81,3 % и P – 48,1 %.

ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенных исследований подтвердили целесообразность внесения муки гороховой в рецептуры мучных восточных сладостей земелах и кихелах для повышения их пищевой ценности и сохранения национального колорита.

ВЫВОДЫ

Выполненные исследования позволили разработать рецептуры мучных восточных сладостей земелах и кихелах с гороховой мукой. Мука гороховая отличается высоким содержанием белка, липидов, клетчатки, витаминов группы B, E, микро- и макроэлементов железа, селена, меди, магния и фосфора, что предопределяет ее использование для повышения пищевой ценности мучных восточных сладостей. Изу-

РАЗРАБОТКА МУЧНЫХ ВОСТОЧНЫХ СЛАДОСТЕЙ ЗЕМЕЛАХ И КИХЕЛАХ ПОВЫШЕННОЙ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ

чено влияние муки гороховой на хлебопекарные свойства пшеничной муки и качество мучных восточных сладостей. Проведена органолептическая оценка качества мучных восточных сладостей и определены их физико-химические показатели. Определена дозировка гороховой муки, равная 12 % к массе муки пшеничной, позволяющая сохранить органолептические, физико-химические показатели и повысить пищевую ценность разработанных мучных восточных сладостей. Проведенные исследования позволяют расширить отечественный ассортимент восточных мучных сладостей повышенной пищевой ценности с использованием нетрадиционного растительного сырья без снижения качества и потери национального колорита.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенова А.В. Разработка технологии производства мучной восточной сладости чак-чак на основе полифункциональных компонентов растительного происхождения / А.В. Семенова, А.А. Славянский, О.С. Восканян // Агропродовольственная экономика, 2019. № 10. С. 69–75.
2. Мирсаитова, Д.Ш. Расширение ассортимента мучных восточных изделий / Д.Ш. Мирсаитова, Г.В. Поснова, И.А. Никитин // За нами будущее: взгляд молодых ученых на инновационное развитие общества : Сборник научных статей 2-й Всеросс. мол. науч. конф. / Отв. редактор А.А. Горохов. Курск : Юго-Западный государственный университет, 2021. С. 75–79.
3. Патент № 2749906 С1 Российская Федерация, МПК А21D 13/80. Способ приготовления мучных восточных сладостей : № 2020127035 : заявл. 12.08.2020 : опубл. 18.06.2021 / Н.Г. Иванова, М.В. Клоконос, М.Е. Авакян, Д.Ш. Мирсаитова ; заявитель ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского».
4. Иванова, К.А. Совершенствование рецептуры изготовления кондитерского изделия чак-чак / К.А. Иванова, С.В. Карелина, М.А. Муханова // Материалы Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и творчество: вклад молодежи» Махачкала : Изд-во Типография Формат, 2020. С. 73–76.
5. Разработка нового кондитерского изделия с использованием муки из кукурузы / Е.А. Струпан, Н.Н. Тилпина, Г.А. Демиденко, В.В. Мищенко // Вестник КрасГАУ. 2021. № 10(175). С. 184–188.
6. Чмыхалова, В.Б. Обоснование рецептуры мучных восточных сладостей с лесными ягодами / В.Б. Чмыхалова, Т.Р. Малакян // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование : материалы VII Всерос. науч.-практ. конф. с межд. участием ; в 2х частях. Часть 1. Петропавловск-Камчатский : КамГТУ, 2016. С. 52–55.
7. Разработка рецептуры и оценка качества мучных восточных сладостей шакер-чурек, обогащенных мукой конопляной / Т.В. Орлова, Е.А. Красносельова, Н.Р. Ринатова // Научный журнал НИУ ИТМО.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 09 июня 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 06 мая 2024.

The article was received by the editorial board on 09 Juny 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 06 May 2024.

Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2022. № 3(53). С. 12–29.

8. Мировой рынок гороха. URL : <https://agrovesti.net/lib/industries/beans/mirovoj-rynok-gorokha.html> (дата обращения : 01.06.2023).

9. Vivar-Quintana, A.M., Absi, Y., Hernández-Jiménez, M., Revilla, I. Nutritional value, mineral composition, fatty acid profile and bioactive compounds of commercial plant-based gluten-free flours. Appl. Sci. 2023. Vol. 13. P. 2309.

10. Shanthakumar, P., Klepacka, J., Bains, A., Chawla, P., Dhull, S.B., Najda, A. The Current Situation of Pea Protein and Its Application in the Food Industry. Molecules. 2022. Vol. 27. P. 5354.

11. Gita Krumina-Zemture, Ilze Beitane, Ilze Gramatina. Amino acid and dietary fibre content of pea and buckwheat flours. Foodsciences. 2016. Vol. 1. P. 84–90.

12. Вайтанис, М.А. Влияние гороховой муки на органолептические и функционально-технологические показатели овощных супов / М.А. Вайтанис // Вестник алтайской науки. 2015. № 1(23). С. 334–339.

13. Зуева, Е.А. Использование гороховой муки в хлебопекарном производстве // Агропромышленный комплекс: состояние, проблемы, перспективы : сборник статей XV Межд. науч.-практ. конф. Пенза : Пензенский государственный аграрный университет, 2020. С. 97–100.

14. Изучение функционально-технологических свойств полуфабрикатов из мяса мулардов с добавлением гороховой муки и спирулины / А.Ф. Шарипова, Д.Д. Хазиев, М.А. Казанина [и др.] // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2021. № 2(67). С. 58–63.

Информация об авторах

И. В. Лозовский – магистрант кафедры технологии хранения и переработки растениеводческой продукции» ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина».

С. А. Халабурдина – бакалавр кафедры технологии хранения и переработки растениеводческой продукции» ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина».

Т. В. Орлова – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии хранения и переработки растениеводческой продукции» ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина».

Information about the authors

I.V. Lozovsky - master student of the Department of Technology of Storage and Processing of Crop Products, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin.

S.A. Khalaburdina - Bachelor of the Department of Technology of Storage and Processing of Crop Products, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin.

T.V. Orlova - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Storage and Processing of Crop Products, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.665

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.018



РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БЕЗГЛЮТЕНОВЫХ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Светлана Сергеевна Кузьмина ¹, Людмила Алексеевна Козубаева ²

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

¹ svetlana.politeh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0302-867X>

² cosubaeva@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5131-4654>

Аннотация. Ассортимент безглютеновых продуктов довольно обширен и включает разнообразные мучные кондитерские изделия (печенье, кексы, вафли), кулинарные блюда, а также хлебобулочные изделия. В сырье для безглютеновых хлебобулочных изделий отсутствует основообразующий компонент (клеяковинные белки) и, как следствие, потребительские свойства таких продуктов не всегда удовлетворяют покупателей. Кроме того, такие изделия имеют пониженную пищевую ценность и относительно высокую стоимость. В работе изучали структуромоделирующие возможности меланжа и псиллиума при производстве хлебных палочек из рисовой муки. Меланж вносили в количестве от 5 % до 25 % к массе муки, при этом отмечено снижение плотности и возрастание липкости теста с увеличением дозировки более 15 %. Изучены показатели качества хлебных палочек. Вкус и запах не изменялись, наилучшая хрупкость имела место у палочек с 15 % меланжа. Влажность изделий и массовая доля жира закономерно увеличивались при возрастании дозировки меланжа, кислотность и массовая доля сахара изменялись в пределах ошибки измерения. Таким образом, рекомендуемая дозировка меланжа в рецептуре хлебных палочек – до 15 % к массе муки.

Влагоудерживающая и гелеобразующая способности псиллиума, содержащего пищевую клетчатку, позволяют использовать его как аналог клейковины. Псиллиум вносили в тесто в количестве до 5 % (с интервалом 1 %) взамен рисовой муки в виде гидроколлоида. Содержание псиллиума в тесте 3 % привело к получению эластично-упругого теста, легко подвергающегося формованию. Изделия из такого теста получались хрупкие, легко разламывающиеся, с разрыхленной структурой. Органолептические и физико-химические показатели хлебных палочек не уступали контрольному образцу.

Ключевые слова: хлебные палочки из рисовой муки, меланж, псиллиум, рецептура, показатели качества.

Для цитирования: Кузьмина С. С., Козубаева Л. А. Рецептурно-технологические решения при производстве безглютеновых хлебобулочных изделий // Ползуновский вестник. 2024. № 2, С. 140–147. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.018. EDN: <https://elibrary.ru/RMDAHC>.

Original article

PRESCRIPTION AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS DURING PRODUCTION GLUTEN-FREE BAKERY PRODUCTS

Svetlana S. Kuzmina ¹, Lyudmila A. Kozubaeva ²

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

¹ svetlana.politeh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0302-867X>

² cosubaeva@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5131-4654>

Abstract. The range of gluten-free products is quite extensive and includes a variety of flour confectionery (cookies, muffins, waffles), culinary dishes, as well as bakery products. The raw materials

© Кузьмина С. С., Козубаева Л. А., 2024

for gluten-free bakery products lack a basic component (gluten proteins) and, as a result, the consumer properties of such products do not always satisfy customers. In addition, such products have a reduced nutritional value and a relatively high cost. The work studied the structure-modeling capabilities of melange and psyllium in the production of breadsticks from rice flour. Melange was added in an amount from 5% to 25% by weight of flour, while a decrease in density and an increase in stickiness of the dough were noted with an increase in dosage of more than 15%. The quality indicators of breadsticks have been studied. The taste and smell did not change, the best fragility occurred in sticks with 15% melange. The moisture content of the products and the mass fraction of fat naturally increased with increasing dosage of melange, the acidity and mass fraction of sugar varied within the measurement error. Thus, the recommended dosage of melange in the recipe of breadsticks is up to 15% by weight of flour.

The moisture-retaining and gel-forming properties of psyllium, which contains dietary fiber, allow it to be used as an analogue of gluten. Psyllium was added to the dough in an amount of up to 5% (with an interval of 1%) instead of rice flour in the form of a hydrocolloid. The psyllium content in the dough of 3% led to the production of an elastic-elastic dough that is easily molded. Products made from such dough turned out to be fragile, easily broken, with a loosened structure. The organoleptic and physico-chemical parameters of the breadsticks were not inferior to the control sample.

Keywords: marketing research, gluten-free products, assortment, recipe, gluten-free flour, fortifiers.

For citation: Kuzmina, S.S. & Kozubaeva, L.A. (2024). Prescription and technological solutions during production gluten-free bakery products. (2024). *Polzunovskiy vestnik*, (2), 140-147. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.02.018. EDN: <https://RMDAHC>.

ВВЕДЕНИЕ

К настоящему времени учеными разных стран и технологами промышленных предприятий разработан достаточно большой ассортимент безглютеновых мучных продуктов. Особенно много в этом перечне мучных кондитерских изделий – разнообразных видов печенья, кексов, вафель, песочных полуфабрикатов. Представлен ассортимент в этой группе хлебобулочными изделиями, предназначенными больным целиакией и аллергией, диабетикам, аутистам, при индивидуальных нарушениях пищеварительных функций кишечника. Безглютеновый хлеб востребован и здоровыми людьми [1].

Однако при очевидной необходимости и востребованности такой хлеб имеет ряд существенных недостатков. Безглютеновые хлебобулочные изделия не всегда обладают высокими потребительскими качествами [2], зачастую характеризуются пониженной пищевой ценностью [3] и высокой ценой [4].

С целью исправления ситуации и обогащения безглютеновых продуктов важными ингредиентами, способными не только разнообразить ассортиментную линейку, но и улучшить вкусовые достоинства, предлагается использование сырья, содержащего дефицитные макро- и микронутриенты, в частности, псевдозлаковые культуры (киноа, амарант) [5, 6, 7], плоды каменного и пробкового дуба [8], молочные продукты (йогурт, творожный сыр) [9], белковые

продукты из микроводорослей, насекомых или растительного сырья [10].

Обоснована возможность добавления в безглютеновый хлеб молочной сыворотки и льняной муки [11], добавления муки из семян расторопши [12].

Рассмотрено комплексное применение муки из семян чиа, люпиновой муки и переэтерифицированный заменитель молочного жира в рецептуре безглютенового хлеба [13].

Использование нетрадиционной для технологии безглютеновых изделий муки из клубней чужа позволит улучшить пищевую ценность изделий за счет входящих в её состав полиненасыщенных жирных кислот, фосфолипидов, стероидов, токоферолов (α -, β - и γ -).

Наибольшую популярность из бобовых культур приобрели продукты переработки сои, нута и гороха, применяемые в качестве белкового обогатителя в рецептуре безглютеновых хлебобулочных изделий из рисовой, рисово-кукурузной, рисово-гречневой и других видов и смесей муки.

Улучшение органолептических характеристик безглютенового хлеба, в том числе вкуса и запаха, может достигаться благодаря использованию разнообразных заквасок, в ходе брожения которых происходит накопление специфических соединений (альдегидов, кетонов, кислот и др.).

Жарковой И.М., Сафоновой Ю.А. предлагается использование закваски «Эвиталя», в состав которой входит комбинация молочнокислых бактерий – пробиотиков: *Strepto-coccus*

thermophilus, *Lactobacillus* (*L. helveticus*, *L. lactis*, *L. acidophilus*), *Freudenreichi shermanii* и др.

Применение химических консервантов, представленных молочной, уксусной, пропионовой кислотами, а также использование заквасок со специально подобранным комплексом микроорганизмов позволяет замедлить процессы микробиологической порчи хлеба, в том числе безглютенового.

Основным недостатком высококрахмалистого продукта, которым является безглю-

теновый хлеб, выступает быстрое черствение изделия. Для решения данной проблемы предложено использовать различные гидроколлоиды (ксантан, гуар, каррагинан, камедь рожкового дерева) [14], нетрадиционное сырье, содержащее гидроколлоиды (семена дикого шалфея, базилика или кресс-салата) [8], ферменты, например, мальтогенную амилазу [12], комбинацию хитозана и трансглутаминазы [10]. Основные группы безглютенового сырья представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Основные виды безглютенового сырья [1]

Figure 1 - The main types of gluten-free raw materials [1]

МЕТОДЫ

В работе изучали структуромоделирующие возможности обогащающих добавок меланжа и псиллиума при производстве хлебных палочек из рисовой муки.

Качество изделий оценивали по органолептическим и физико-химическим показателям в соответствии с общепринятыми методами:

- органолептические показатели описывали в соответствии с ГОСТ 5667-2022 «Изделия хлебобулочные. Правила приемки, методы отбора образцов, методы определения органолептических показателей и массы изделий»;
- влажность определяли стандартным методом по ГОСТ 21094-2022 «Изделия хлебобулочные. Методы определения влажности»;
- кислотность анализировали ускоренным способом по ГОСТ 5670-96 «Хлебобулочные изделия. Методы определения кислотности»;
- массовую долю сахара и массовую долю жира определяли расчетным методом на основе справочных данных и программы обработки электронных таблиц Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ассортимент традиционных хлебобулочных изделий достаточно разнообразен. На фоне широкого перечня булок, булочек, батончиков, выделяется так называемая «снековая» безглютеновая хлебобулочная продукция, внимание которой не достаточно уделено. Её особенностью является удобный формат потребления и разнообразие вкусов, не ограничивающихся традиционным предпочтением большинства потребителей, а также длительный срок хранения в силу низкой влажности готового продукта.

Хлебные палочки, как представители «снековой» хлебобулочной продукции, широко любимы не только детьми и подростками, но и взрослым населением. Модификация рецептуры хлебных палочек посредством замены пшеничной муки на рисовую позволит совместить положительные стороны продукта и особенности приготовления безглютеновых изделий. Технологический процесс приготовления хлебных палочек из рисовой муки представлен на рисунке 2.

РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БЕЗГЛЮТЕНОВОГО ХЛЕБОБУЛОЧНОГО ИЗДЕЛИЯ



Рисунок 2 – Технологическая схема приготовления хлебных палочек из рисовой муки

Figure 2 - Technological scheme of cooking breadsticks from rice flour

Технологический процесс приготовления хлебных палочек, предусматривающий подготовку и дозирование сырья, замес теста и его отлежку / брожение в течение 30 минут, натирку и последующее формование тестовых заготовок, выпечку, упаковку и хранение готовых изделий, отличается для аглютеновых изделий тем, что отсутствие клейковинообразующих белков в рисовой муке делает нецелесообразным стадию натирки теста. Тестоприготовление вели с применением прессованных дрожжей (*Saccharomyces cerevisiae*) безопасным способом. Качество готовых изделий оценивали по ГОСТ 28881-90 «Палочки хлебные. Общие технические условия».

Критически важной особенностью технологии безглютеновых хлебобулочных изделий является отсутствие главного структурообразующего компонента – глютена. Удерживая углекислый газ, вырабатываемый дрожжами, глютен способствует формированию пористой структуры готового продукта. Поэтому основная цель производителей была и будет – подбор ингредиентов, способных адекватно заменить структурообразующий компонент, при этом не допустить попадания глютена в готовый продукт.

Одним из компонентов, позволяющих реализовать поставленную задачу, является ме-

ланж. Составные части меланжа – белок и желток – по-разному влияют на структуру теста и качество изделий. Использование белка в качестве рецептурного компонента позволяет получить высокую пористость и воздушность, однако при этом ускоряется процесс черствения готового изделия. Применение желтков делает тесто воздушным и рассыпчатым, придавая ему приятный желтоватый оттенок [15]. Действуя совместно в структуре меланжа, белок и желток оказывают комплексное влияние на структуру теста и качество готовых изделий.

Внесение меланжа при производстве хлебных палочек на основе рисовой муки осуществляли в количестве от 5 % до 25 % к массе муки, при этом качество изделий сравнивали с контролем (0 % меланжа).

В процессе приготовления теста было отмечено, что с повышением процентного содержания меланжа плотность теста, свойственная высококрахмальным структурам, снижалась. Отмечено уменьшение количества трещин на поверхности тестовых заготовок, а главное, сокращение их глубины.

Однако присутствие меланжа в количестве 20 % делало тесто липким, затрудняя формование тестовых заготовок. В процессе расстойки тестовые заготовки неравномерно увеличились в размерах, что привело к полу-

чению изделий с неровной поверхностью. Внесение 25 % меланжа усилило липкость теста и способствовало формированию пустот в структуре изделия.

Одной из регламентируемых характеристик, отличающих хлебные палочки от широкого перечня хлебобулочных изделий, является их «хрупкость». Следует отметить, что внесение меланжа оказало положительное влияние на изменение этого показателя. Присутствие 15 %

меланжа и более способствовало получению изделий хрупких и легко разламывающихся, в то время как при добавлении 5 % и 10 % меланжа хлебные палочки характеризовались как «хрупкие, трудно разламывающиеся».

Присутствие меланжа в рецептуре рисовых хлебных палочек не повлияло на вкус и запах готового продукта.

Показатели качества хлебных палочек с добавлением меланжа представлены на рисунке 3.

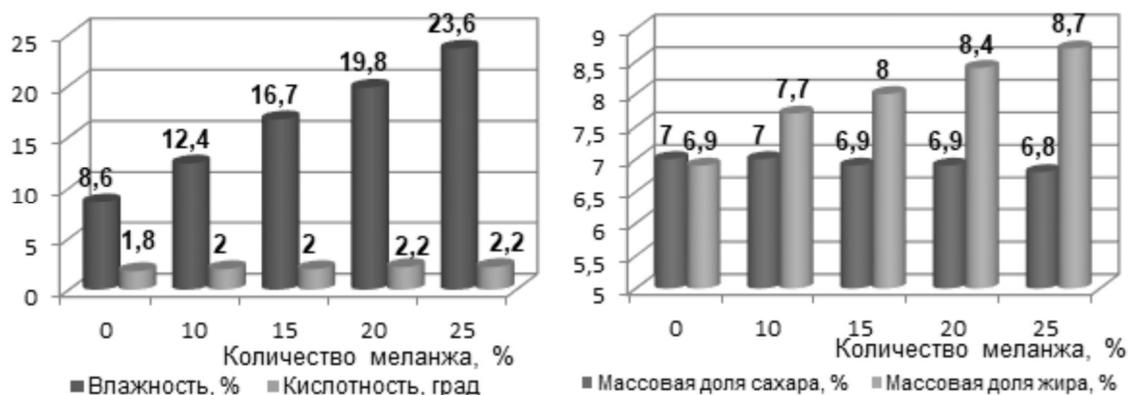


Рисунок 3 – Показатели качества хлебных палочек с меланжем

Figure 3 - Indicators of the quality of breadsticks with melange

Добавление меланжа в первую очередь повлияло на влажность готового продукта, способствуя закономерному повышению значения этого показателя [16].

Массовая доля жира в изделии постепенно повышалась с увеличением процентного содержания меланжа, при этом массовая доля сахара оставалась без изменения.

В силу отсутствия государственного стандарта на безглютеновые хлебные палочки заключение о рекомендуемом количестве меланжа делали на основании органолептических характеристик готового продукта.

Таким образом, в качестве структурообразующего компонента при производстве хлебных палочек из рисовой муки рекомендуется вводить в рецептуру до 15 % меланжа к массе муки.

Необходимость обогащения безглютеновых продуктов эссенциальными нутриентами является одной из главных задач при разработке рецептур таких изделий. Ограниченность химического состава аглютенных изделий связана с исключением из перечня сырья продуктов переработки зерна пшеницы, ржи, ячменя, значительно обогащенных пищевыми волокнами.

Одним из источников пищевых волокон, рекомендуемым в аглютенной диете, выступает псиллиум. Псиллиум получают путем измельчения цветковых оболочек семян по-

дорожника, а в редких случаях – целого зерна в муку. Родиной овального подорожника являются Индия, Пакистан, Средиземноморье, в России его можно найти в Закавказье [17].

Помимо пищевых волокон, на долю которых приходится до 80 % – 85 % (в том числе растворимая фракция составляет 71 %), мука псиллиума содержит белки (до 2,9 %), жиры (до 0,9 %) и углеводы, представленные гликозидами и полисахаридами.

Благодаря своей высокой влагоудерживающей и гелеобразующей способности этот пищевой компонент может использоваться как аналог клейковины, позволяя улучшить пористость и структуру готовых изделий [18].

В рамках представленных исследований псиллиум использовали в технологии рисовых хлебных палочек в количестве до 5 % взамен части рисовой муки. В качестве базовой использовали рецептуру изделий, в составе которой присутствует 15 % меланжа (0 % псиллиума).

С целью ускорения процесса формирования теста псиллиум вносили в форме гидроколлоида [19]. Важно отметить экспериментально установленный факт, что добавление псиллиума в сухом виде приводит к получению липкого теста. В последующем при работе с таким тестом возникают определенные трудности [20].

РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БЕЗГЛЮТЕНОВОГО ХЛЕБОБУЛОЧНОГО ИЗДЕЛИЯ

Гидроколлоид псиллиума получали путем смешивания добавки с частью воды, рассчитанной на замес теста. При взаимодействии с водой образовывался нерастворимый гель в виде желеобразной массы, который в последующем вводили к жидким компонентам и производили замес теста.

При добавлении псиллиума в количестве 3 % тесто получалось мягким, эластичным с упругой консистенцией. Благодаря присутствию псиллиума тесто легко замешивалось и подвергалось формованию. В процессе расстойки тестовые заготовки увеличивались в размерах из-за проявления свойств, характерных клейковинобразующим белкам. В готовых изделиях трещины и подрывы отсутствовали, обеспечивая им высокие потребительские свойства.

Дальнейшее увеличение дозировки псиллиума приводило к разрушению структуры теста. Было отмечено, что внесение 4 % псиллиума предопределяло формирование небольших трещин на поверхности готовых изделий, количество которых возрастало при внесении 5 % добавки.

Использование псиллиума в рецептуре рисовых хлебных палочек не оказало влияние на хрупкость и вид в изломе. Изделия характеризовались как «хрупкие, легко разламывающиеся, с хорошо разрыхленной структурой».

В силу отсутствия выраженного вкуса и запаха псиллиум не изменил эти показатели.

Показатели качества хлебных палочек с добавлением псиллиума представлены на рисунке 4.

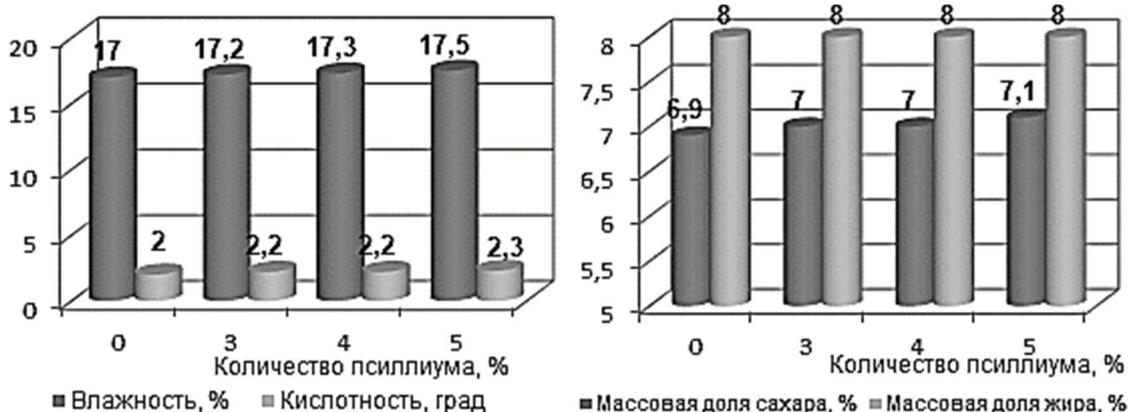


Рисунок 4 – Показатели качества хлебных палочек с псиллиумом

Figure 4 - Quality indicators of breadsticks with psyllium

При введении в рецептуру хлебных палочек псиллиума отмечено только небольшое повышение влажности. Остальные показатели изменялись в пределах ошибки измерения.

В результате исследований можно сделать вывод о целесообразности применения псиллиума при приготовлении хлебных палочек из рисовой муки. Рекомендуемой дозировкой псиллиума является 3 % взамен части муки.

Обобщая представленные данные, можно сделать вывод, что добавление в рецептуру безглютеновых хлебных палочек из рисовой муки меланжа в количестве до 15 % и псиллиума – до 3 % позволяет формировать и структурировать тесто в условиях отсутствия клейковинных белков.

ВЫВОДЫ

Комплексное применение меланжа и псиллиума в технологии хлебных палочек способствовало получению продукта по своим по-

требительским свойствам, близкого к традиционным видам изделий из пшеничной муки. Благодаря своей способности выполнять функции структурообразователя меланж и псиллиум являются полноценными компонентами безглютеновых хлебобулочных изделий. Обладая высокими функционально-технологическими свойствами, рассматриваемые добавки позволили не только адекватно заменить глютен и улучшить структуру рисовых палочек, но и обогатить их пищевыми волокнами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кирюхина А.Н. Современное состояние и перспективы развития производства хлеба и хлебобулочных изделий в России / А.Н. Кирюхина, Р.З. Григорьева, А.Ю. Кожевникова // Техника и технология пищевых производств. 2019. Т. 49, № 2. С. 330–337. DOI : <http://doi.org/10.21603/2074-9474-2019-2-330-337>.
2. Silva H.A., Paiva E.G., Lisboa H.M. & Duarte E. [et al.]. Role of chitosan and transglutaminase

on the elaboration of gluten-free bread // *J. Food Sci Technol.* 2020. V. 57. № 5. P. 1877–1886. doi: 10.1007/s13197-019-04223-5.

3. Allen B. & Orfila C. The Availability and Nutritional Adequacy of Gluten-Free Bread and Pasta // *Nutrients.* 2018. V. 10. № 10. P. 1370. doi : 10.3390/nu10101370.

4. El Khoury D., Balfour-Ducharme S. & Joye I.J. A. Review on the Gluten-Free Diet: Technological and Nutritional Challenges // *Nutrients.* 2018. V. 10. № 10. P. 1410. Doi : 10.3390/nu10101410.

5. Бавыкина И.А. Эффективность продуктов из амаранта в безглютеновом питании детей с непереносимостью глютена / И.А. Бавыкина, А.А. Звягин, Л.А. Мирошниченко [и др.] // *Вопросы питания.* 2017. Т. 86. № 2. С. 91–99.

6. Жаркова И.М. Оптимизация безглютеновой диеты новыми продуктами / И.М. Жаркова, А.А. Звягин, Л.А. Мирошниченко [и др.] // *Вопросы детской диетологии.* 2017. № 6. С. 59–65. DOI : 10.20953/1727-5784-2017-6-59-65.

7. Урубков 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 : <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-1-102-107>.

8. Beltrão Martins R., Gouvinhas I., Nunes M.C., Alcides Peres J. [et al.]. Acorn Flour as a Source of Bioactive Compounds in Gluten-Free Bread // *Molecules.* 2020. V. 25. № 16. P. 3568. doi: 10.3390/molecules25163568.

9. Biesiekierski J.R. What is gluten? // *J. Gastroenterol Hepatol.* 2017. V. 32. № 1. P. 78–81. doi: 10.1111/jgh.13703.

10. Skendi A., Papageorgiou M. & Varzakas T. High Protein Substitutes for Gluten in Gluten-Free Bread // *Foods.* 2021. V. 10. № 9. P. 1997. doi: 10.3390/foods10091997.

11. Попов В.Г. Зависимость кислотности безглютенового хлеба от вводимых добавок / В.Г. Попов, Н.Г. Хайруллина, Х.Н. Садыкова // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий.* 2022. № 3. С. 96–106. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-3-96-106>.

12. Журавлева, Е.О. Безглютеновый хлеб с мукой из семян раторопши / О.О. Пасько, Л.А. Козубаева // *Ползуновский вестник.* 2017. № 2. С. 45–48.

13. Zaytseva L.V., Yudina T.A., Ruban N.V. & Bessonov V.V. Modern approaches to the development of gluten-free bakery formulations // *Voprosy pitaniya.* 2020. V. 89. № 1. P. 77–85. DOI : 10.24411/0042-8833-2020-10009.

14. Ren Y., Linter B.R., Linforth R. & Foster T.J. A comprehensive investigation of gluten free bread dough rheology, proving and baking performance and bread qualities by response surface design and principal component analysis // *Food & function.* 2020. V. 11. № 6. P. 5333–5345. doi: 10.1039/d0fo00115e.

15. Барсукова Н.В. Пищевая инженерия: технологии безглютеновых мучных изделий / Н.В. Барсукова, Д.А. Решетников, В.Н. Красильников // *Процессы и аппараты пищевых производств.* 2011. № 1. С. 51–60.

16. Ширитова Л.Ж., Жилова Р.М. Влияние меланжа на качество бисквитного теста // *Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрно-университета им. В.М. Кокова.* 2023. 1(39). С. 165–171. doi : 10.55196/2411-3492-2023-1-39-165-171.

17. Плотникова Е.Ю. Роль пищевых волокон в коррекции пищеварения и запоров различной этиологии / Е.Ю. Плотникова, Т.Ю. Грачева, М.Н. Синькова, Л.К. Исаков // *Журнал Медицинский совет.* 2019. № 14. С. 99–106. doi: 10.21518/2079-701X-2019-14-99-106.

18. Меркулова Е.Г. Изучение возможности применения псиллиума в технологии безглютеновых изделий / Е.Г. Меркулова, О.Л. Ладнова, Е.В. Извекова, А.В. Кузина // *Вестник ОрелГИЭТ.* 2021. № 2 (56). С. 154–158. DOI: <http://dx.doi.org/10.36683/2076-5347-2021-2-56-154-158>.

19. Куц А.А. Возможность использования псиллиума и семян льна в качестве структурообразователей мякиша в аглютиновых хлебобулочных изделиях / А.А. Куц, Н.В. Широкова // *Молодежь и наука: шаг к успеху : сборник научных статей 6-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых.* Курск : Изд-во Юго-Западный государственный университет, 2022. № 3. С. 110–113.

20. Смольянова А.П. Псиллиума при производстве различных пищевых продуктов / А.П. Смольянова, М.О. Волошина, А.Н. Кудря, М.О. Деева // *Журнал Заметки ученого.* 2021. № 6 1. С. 241–244.

REFERENCES

1. Kiryukhina, A.N., Grigoreva, R.Z. & Kozhevnikova, A.Yu. (2019). Bread Production and Bakery Products in Russia: Current State and Prospects. *Food Processing: Techniques and Technology.* 49(2):330-337. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-2-330-337>.

2. Silva, H.A., Paiva, E.G., Lisboa, H.M., Duarte, E. [et al.]. (2020). Role of chitosan and transglutaminase on the elaboration of gluten-free bread. *Journal of Food Science and Technology.* 57(5). 1877-1886. doi: 10.1007/s13197-019-04223-5.

3. Allen, B. & Orfila, C. (2018). The Availability and Nutritional Adequacy of Gluten-Free Bread and Pasta. *Nutrients.* 10(10). 1370. doi: 10.3390/nu10101370.

4. El Khoury, D., Balfour-Ducharme, S. & Joye, I.J.A. (2018). Review on the Gluten-Free Diet: Technological and Nutritional Challenges. *Nutrients.* 10(10). 1410. Doi : 10.3390/nu10101410.

5. Bavykina, I.A., Zvyagin, A.A., Miroshnichenko, L.A., Gusev, K.Yu. & Zharkova, I.M. (2017). Efficient products from amaranth in a gluten-free nutrition of children with gluten intolerance. *Voprosy pitaniya [Problems of Nutrition].* 86 (2): 91-9. (in Russian).

6. Zharkova, I.M., Zvyagin, A.A., Miroshnichenko, L.A., Slepokurova, Yu.I., Roslyakov, Yu.F., Koryachkina, S.Ya. & Gustinovich, V.G. (2017). Optimization of a gluten-free diet with new products. *Vopr. det.*

РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БЕЗГЛЮТЕНОВОГО ХЛЕБОБУЛОЧНОГО ИЗДЕЛИЯ

dietol. (Pediatric Nutrition). 15(6): 59-65. (In Russ.). DOI: 10.20953/1727-5784-2017-6-59-65.

7. Urubkov, S.A., Khovanskaya, S.S. & Smirnov, S.O. (2021). Selenium content in gluten-free products. *Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]*. 90 (1): 102-7. (in Russian). DOI : <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-1-102-107>.

8. Beltrão Martins, R., Gouvinhas, I., Nunes, M.C., Alcides Peres, J. [et al.]. (2020). Acorn Flour as a Source of Bioactive Compounds in Gluten-Free Bread. *Molecules*. 25(16). 3568. doi: 10.3390/molecules25163568.

9. Biesiekierski, J.R. (2017). What is gluten? *J. Gastroenterol Hepatol*. 32(1). 78-81. doi: 10.1111/jgh.13703.

10. Skendi, A., Papageorgiou, M. & Varzakas, T. (2021). High Protein Substitutes for Gluten in Gluten-Free Bread. *Foods*. 10(9). 1997. doi: 10.3390/foods10091997.

11. Popov, V.G., Hajrullina, N.G. & Sadykova, H.N. (2022). Dependence of the acidity of gluten-free bread on the introduced additives. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 84(3):96-106. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-3-96-106>.

12. Zhuravleva, E.O., Pasko O.O. & Kozubaeva, L.A. (2017). Gluten-free bread with flour from milk thistle seeds. *Polzunovskiy vestnik*. 2. 45-48. (In Russ.).

13. Zaytseva, L.V., Yudina, T.A., Ruban, N.V. & Bessonov, V.V. (2020). Modern approaches to the development of gluten-free bakery formulations. *Voprosy pitaniya*. 89(1). 77-85. (In Russ.). DOI: 10.24411/0042-8833-2020-10009.

14. Ren, Y., Linter, B.R., Linforth, R. & Foster, T.J. (2020). A comprehensive investigation of gluten free bread dough rheology, proving and baking performance and bread qualities by response surface design and principal component analysis. *Food & function*. 11(6). 5333-5345. doi: 10.1039/d0fo00115e.

15. Barsukova, N.V., Reshetnikov, D.A. & Krasilnikov, V.N. (2011). Food engineering: technology of gluten-free baked products. *Processes and devices of food production*. (1). 51-60. (In Russ.).

16. Shiritova, L.Zh., Zhilova, R.M. (2023). Influence of melange on the quality of biscuit dough. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 1(39):165-171. (In Russ.). doi: 10.55196/2411-3492-2023-1-39-165-171.

17. Plotnikova, E.Yu., Gracheva, T.Yu., Sinkova, M.N. & Isakov, L.K. (2019). The role of dietary fiber in the correction of digestion and constipation of various etiologies. *Meditsinskiy sovet = Medical Council*. (14):99-106. (In Russ.). doi: 10.21518/2079-701X-2019-14-99-106.

18. Merkulova, E.G., Ladnova, O.L., Izvekova, E.V., Kuzina, A.V. & Ashikhina, L.A. (2021). Studying the Possibility of Using Psyllium in the Technology of Gluten-Free Products. *Ore/SIET bulletin.2* (56): 154-158. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.36683/2076-5347-2021-2-56-154-158>.

19. Kuts, A.A. & Shirokova, N.V. (2022). Possibility of using psyllium and flax seeds as crumb structuring agents in aggluten bakery products. *Youth and Science: a step to success: collection of scientific articles of the 6th All-Russian scientific conference of promising developments of young scientists*. Kursk: Izd-vo South-West State University, (3). 110-113. (In Russ.).

20. Smolyanova, A.P., Voloshina, M.O., Kudrya, A.N. & Deeva, M.O. (2021). The use psyllium in the production of various food products. *Journal Notes of a scientist*. (6)1. 241-244. (In Russ.).

Информация об авторах

С. С. Кузьмина – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология хранения и переработки зерна» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

Л. А. Козубаева – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология хранения и переработки зерна» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

Information about the authors

S.S. Kuzmina - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Grain Storage and Processing Technology, Polzunov Altai State Technical University.

L.A. Kozubaeva - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Grain Storage and Processing Technology, Polzunov Altai State Technical University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 23 сентября 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 06 мая 2024.

The article was received by the editorial board on 23 Sep 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 06 May 2024.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК664.661.3

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.019



ИЗУЧЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ГАЛЕТ

Александра Сергеевна Захарова ¹, Светлана Ивановна Конева ²

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

¹ zakharovatpz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7571-0950>

² skoneva22@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6727-5979>

Аннотация. Представлены результаты исследований влияния псиллиума в качестве источника пищевых волокон на качественные характеристики многокомпонентных смесей для галет. Установлено, что внесение 1–7 % псиллиума взамен части муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта увеличивает содержание пищевых волокон в многокомпонентных смесях в 1,2–2,7 раз. Зафиксировано выраженное негативное влияние псиллиума на цвет и белизну многокомпонентных смесей, накладывающее ограничение на использование данного компонента в составе смесей в количестве свыше 5 % взамен части муки. Влияние псиллиума на массовую долю влаги и кислотность многокомпонентных смесей не обнаружено. Доказано расслабление белково-протеиназного комплекса многокомпонентных смесей: при использовании псиллиума в качестве рецептурного ингредиента смесей свыше 3 % клейковина переходит в категорию «неотмываемая». Добавление 1–7 % псиллиума увеличивает число падения и водопоглотительную способность многокомпонентных смесей на 6–27 % и 4–11 % соответственно относительно контрольного образца. Выработка опытных образцов галет позволила установить возможность и целесообразность использования многокомпонентной смеси с 5 % псиллиума при их производстве: полученные образцы обладали правильной формой, гладкой поверхностью с заметными включениями серого и коричневого цвета, вид в изломе был слоистый, с равномерной пористостью, без вздутий, закала и следов непромеса, вкус и запах свойственным для данного вида продукции. Массовая доля влаги, кислотность, щелочность галет с псиллиумом не отличались от данных показателей качества контрольного образца, выпеченного без обогащающей добавки. Использование псиллиума позволило улучшить структуру изделий, что закономерно увеличило толщину галет и намокаемость готовой продукции.

Ключевые слова: многокомпонентные смеси, псиллиум, пищевые волокна, галеты, качественные характеристики, белково-протеиназный комплекс, обогащение, функциональные продукты питания.

Благодарности: Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки РФ (№ 075-03-2024-105, номер темы FZMM-2024-0003, рег. № НИОКТР 124013000666-5).

Для цитирования: Захарова А. С., Конева С. И. Изучение качественных характеристик многокомпонентных смесей для галет // Ползуновский вестник. 2024. № 2, С. 148–154. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.019. EDN: <https://elibrary.ru/KQYSIK>.

Original article

STUDY OF QUALITATIVE CHARACTERISTICS MULTICOMPONENT MIXTURES FOR BISCUITS

Alexandra S. Zakharova ¹, Svetlana I. Koneva ²

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

¹ zakharovatpz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7571-0950>

² skoneva22@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6727-5979>

© Захарова А. С., Конева С. И., 2024

Abstract. *The results of studies of the effect of psyllium as a source of dietary fiber on the qualitative characteristics of multicomponent mixtures for biscuits are presented. It was found that the introduction of 1-7% psyllium instead of a part of premium wheat flour increases the content of dietary fiber in multicomponent mixtures by 1.2-2.7 times. A pronounced negative effect of psyllium on the color and whiteness of multicomponent mixtures has been recorded, which imposes a restriction on the use of this component in mixtures in an amount exceeding 5% instead of part of the flour. The effect of psyllium on the mass fraction of moisture and acidity of multicomponent mixtures has not been detected. The relaxation of the protein-proteinase complex of multicomponent mixtures has been proven: when using psyllium as a prescription ingredient of mixtures over 3%, gluten falls into the category of "non-washable". The addition of 1-7% psyllium increases the number of drops and the water absorption capacity of multicomponent mixtures by 6-27% and 4-11%, respectively, relative to the control sample. The development of prototypes of biscuits made it possible to establish the possibility and expediency of using a multicomponent mixture with 5% psyllium in their production: the obtained samples had a regular shape, a smooth surface with noticeable inclusions of gray and brown, the appearance in the fracture was layered, with equal porosity, without blisters, hardening and traces of non-kneading, taste and smell characteristic for this type of product. The mass fraction of moisture, acidity, alkalinity of biscuits with psyllium did not differ from these quality indicators of the control sample baked without an enriching additive. The use of psyllium made it possible to improve the structure of products, which naturally increased the thickness of biscuits and the wetness of finished products.*

Keywords: *multicomponent mixtures, psyllium, dietary fibers, biscuits, qualitative characteristics, protein-proteinase complex, enrichment, functional food products.*

Acknowledgements: *This work was supported by the project № 075-03-2024-105, FZMM-2024-0003, 124013000666-5 from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.*

For citation: Zakharova, A.S. & Koneva, S.I. (2024). Study of qualitative characteristics of multicomponent mixtures for biscuits. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 148-154. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.02.019. EDN: <https://KQYSIK>.

ВВЕДЕНИЕ

Арктика – северная область Земли, включающая часть таких материков, как Евразия и Северная Америка, а также Северный Ледовитый океан, часть Атлантического и Тихого океанов. Значительная часть этого уникального региона находится под юрисдикцией Российской Федерации и имеет огромное значение для безопасности и экономики нашей страны. В настоящее время Россия активно «осваивает» Арктику, в первую очередь, с целью форсирования добычи природных ресурсов, т.к. в Арктической зоне находятся богатые месторождения алмазов, золота, никеля, платины, меди и угля, а также до 25 % мировых запасов газа и нефти [1].

Занимаются этой важнейшей задачей, как правило, люди, работающие вахтовым методом, основной проблемой которых является адаптация к специфическим климатическим условиям Арктических регионов: низкие температуры воздуха (до –40–60 °С), короткое и холодное лето (+5–10 °С), большое количество осадков (до 400–600 мм в год), сильный порывистый ветер, особая фотопериодичность, космические факторы, низкая минерализация питьевой воды и т.д. Коренное население Арктики имеет природные защитные механизмы и адаптировано к экстремальным погодным условиям, а пришлое

население подвержено «синдрому полярного напряжения» и «холодовому стрессу».

В условиях Крайнего Севера по сравнению с другими регионами значительно выше распространенность гиповитаминоза D и алиментарно-зависимых заболеваний, таких как ожирение, метаболический синдром, сахарный диабет 2 типа и сердечно-сосудистая патология [2–4]. Анализ фактических рационов питания населения Арктики свидетельствует о дефиците большинства незаменимых нутриентов. Самый низкий процент удовлетворения потребности в витаминах, минеральных веществах (йод, магний, кальций, калий, селен), пищевых волокнах, фосфолипидах [5].

Одной из наиболее перспективных, ответственных и экономически оправданных мер для повышения устойчивости неадаптированного человека к экстремальным условиям окружающей среды является коррекция рационов питания специально разработанными продуктами, повышающими терморегулирующие, общеукрепляющие и адаптационные возможности человеческого организма.

В настоящее время специалисты по питанию активно разрабатывают и внедряют в производство продукты питания, предназначенные для населения Арктической зоны.

Примерами могут служить специализированные продукты питания на основе ком-

плексной пищевой физиологически функциональной системы, в состав которой входят шиповник коричный, боярышник кроваво-красный, листья мяты перечной, корень свеклы столовой, маточное молочко, клевер луговой красный, янтарная кислота и фосфолипиды, а также колбасные изделия на основе субпродуктов из оленины, обогащенные комплексной природной системой из корня сабельника болотного, сублимированных ягод и листьев водяники, пшеничных отрубей и фосфолипидно-минерального комплекса [6, 7].

Большой интерес для жителей Арктических регионов и специалистов по питанию представляют сублимированные кисломолочные продукты с земляникой, национальные молочные напитки с брусникой, смородиной, голубикой, с корневищем сусака зонтичного, полынью черныбыльника, продукты на основе экстрактов, содержащих биологически активные вещества морских водорослей, напитки для коренных жителей Крайнего Севера, содержащие бруснику, настой кипрея узколистного, муку льняную, мед цветочный, клюкву и многие другие [8–11].

Как видно из приведенных примеров, современные исследователи стремятся обогатить продукты питания микро- и макронутриентами, используя в качестве их источников натуральное сырье, а не соединения, полученные путем химического синтеза.

В ходе разработки технологии галет, предназначенных для нутрициологической поддержки групп населения, находящихся под воздействием экстремальных факторов Арктической зоны Российской Федерации в качестве одного из источников функциональных пищевых ингредиентов, был выбран псиллиум.

Псиллиум – шелуха семян подорожника яйцевидного (*Plantago ovata*), ценный источник пищевых волокон, содержание которых составляет порядка 85 %, 70 % из них являются растворимыми и при взаимодействии с водой превращаются в гель [12]. Известно положительное воздействие псиллиума на организм человека, благодаря чему он находит применение в медицине. Псиллиум способствует перистальтике желудочно-кишечного тракта, выведению токсинов, стимулирует рост полезной микрофлоры кишечника, снижает уровень холестерина в крови [13].

Целью представленного исследования являлось изучение качественных характеристик многокомпонентных смесей с 1–7 % псиллиума, доказательства возможности и целесообразности использования данной обогащающей добавки в качестве источника пищевых волокон при производстве галет.

МЕТОДЫ

Объектами исследований являлись многокомпонентные смеси и галеты. В лабораторных условиях были приготовлены и изучены: смесь № 1 – мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта (контроль); смесь № 2 – смесь, состоящая из 99 % муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта и 1 % псиллиума; смесь № 3 – смесь, состоящая из 97 % муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта и 3 % псиллиума; смесь № 4 – смесь, состоящая из 95 % муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта и 5 % псиллиума; смесь № 5 – смесь, состоящая из 93 % муки пшеничной высшего сорта и 7 % псиллиума.

Для изучения органолептических и физико-химических показателей качества многокомпонентных смесей были использованы методики согласно следующей действующей документации: ГОСТ 9404-88 «Мука и отруби. Метод определения влажности», ГОСТ 26361-2013 «Мука. Метод определения белизны», ГОСТ 27493-87 «Мука и отруби. Метод определения кислотности по болтушке», ГОСТ 27558-87 «Мука и отруби. Методы определения цвета, запаха, вкуса и хруста», ГОСТ 27839-2013 «Мука пшеничная. Методы определения количества и качества клейковины», ГОСТ ISO 3093-2016 «Зерно и продукты его переработки. Определение числа падения методом Хагберга–Пертена» [14–19]. Водопоглотительная способность мучных смесей была установлена по общепринятой в отрасли методике путем измерения количества воды, пошедшей на замес теста заданной консистенции. Содержание пищевых волокон определяли расчетным путем.

Галеты выпекали в хлебопекарной печи конвекционного типа UNOX XB 693 по традиционной технологии, используя опарный способ тестоприготовления с добавлением псиллиума в количестве 5 % взамен части муки на этапе замеса теста. В качестве контрольного образца использовали галеты из пшеничной муки без обогащающих добавок. Для оценки качества галет использовали стандартные методики, согласно ГОСТ 5897-90 «Изделия кондитерские. Методы определения органолептических показателей качества, размеров, массы нетто и составных частей», ГОСТ 5898-2022 «Изделия кондитерские. Методы определения кислотности и щелочности», ГОСТ 5900-2014 «Изделия кондитерские. Методы определения влаги и сухих веществ», ГОСТ 10114-80 «Изделия кондитерские мучные. Метод определения намокаемости» [20–23].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Органолептическая оценка качества мучных смесей с использованием псиллиума позволила сделать вывод, что использование обогащающей добавки не влияет на вкус и запах смесей, однако ухудшает их внешний вид. Фотографии мучных смесей с добавлением псиллиума представлены на рисунке 1.

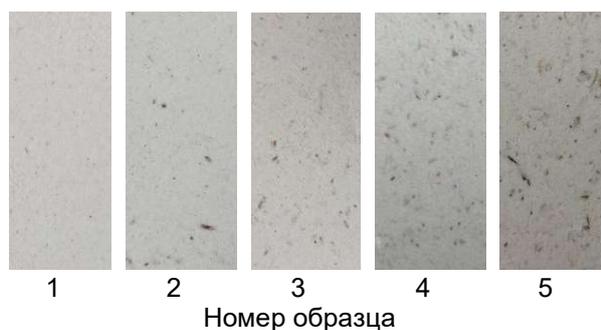


Рисунок 1 – Фотографии мучных смесей с добавлением псиллиума

Figure 1 - Photos of flour mixtures with psyllium addition

Из представленных фотографий видно, что использование псиллиума при производстве многокомпонентных смесей придает последним более темный цвет, в смесях появляются серо-коричневые частицы псиллиума, что негативно сказывается на качестве продукта и вносит ограничения на увеличение дозировки обогащающей добавки свыше 5 % при производстве изделий из пшеничной муки высших сортов, цвет которых регламентируется.

Полученные результаты хорошо коррелируют с результатами изучения влияния псиллиума на белизну мучных смесей, приведенными на рисунке 2.

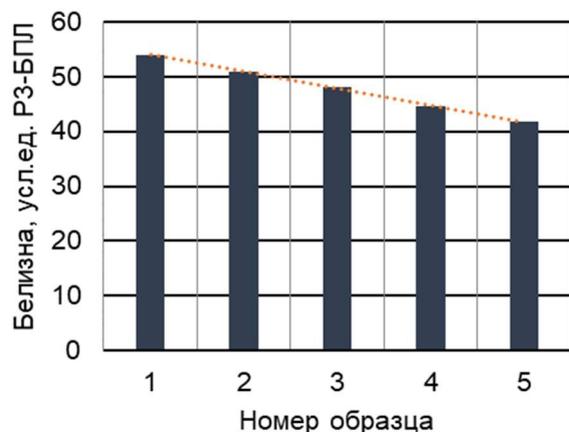


Рисунок 2 – Влияние псиллиума на белизну многокомпонентных смесей

Figure 2 - The effect of psyllium on the whiteness of multicomponent mixtures

Как видно из представленных данных, использование псиллиума закономерно снижало белизну мучных смесей пропорционально количеству вносимой добавки, что связано с отражательной способностью частиц псиллиума, отличной от отражательной способности поверхности частиц эндосперма муки пшеничной хлебопекарной. Использование 1 % обогащающей добавки снижало белизну многокомпонентных смесей на 5,7 %, использование 3 % и 5 % – на 10,9 % и 17,4 %, использование 7 % – на 22,6 % по сравнению с контрольным образцом.

На рисунке 3 наглядно представлена линейная зависимость водопоглотительной способности мучных смесей (ВПС) от количества псиллиума, что объясняется микрокапиллярным строением пищевых волокон псиллиума и входящими в его состав полисахаридами, обладающими повышенными влагоудерживающими свойствами. Использование в составе многокомпонентных смесей 1–7 % увеличивало данный показатель качества на 4–11 %.

Содержание пищевых волокон, вносимых в мучные смеси посредством использования псиллиума, приведено на рисунке 4.

Было установлено, что использование обогащающей добавки в количестве 1–7 % увеличивает содержание пищевых волокон в 1,2–2,7 раз, повышая их количество с 3,5 г/100 г смеси в образце № 1 до 9,4 г/100 г смеси в образце № 5.

Следует отметить, что использование псиллиума при производстве мучных смесей не оказало влияния на кислотность и влажность анализируемых образцов. Влажность всех исследуемых смесей составляла порядка 13,2 %, отклонения не превышали погрешность методики определения. Кислотность образцов № 1–№ 4 составила 2 град.

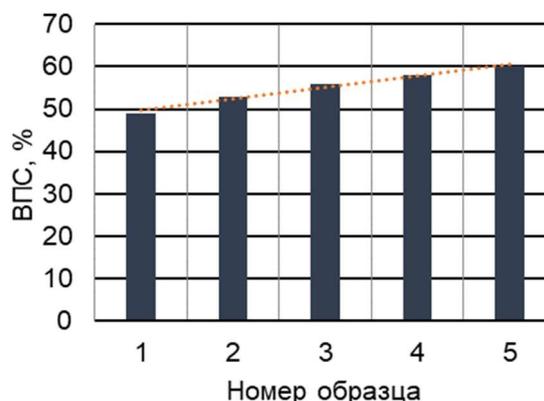


Рисунок 3 – Влияние псиллиума на водопоглотительную способность многокомпонентных смесей

Figure 3 - The effect of psyllium on the water absorption capacity of multicomponent mixtures

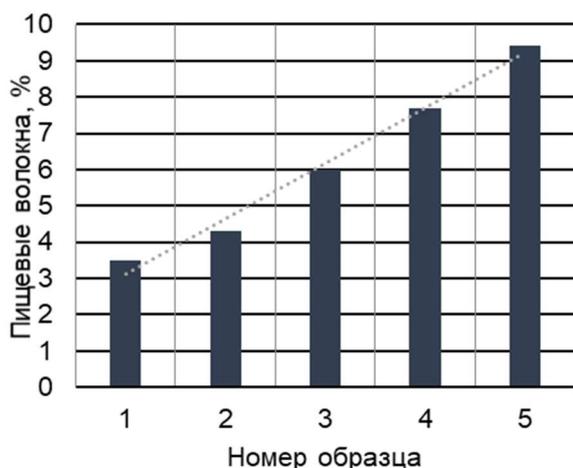


Рисунок 4 – Влияние псиллиума на содержание пищевых волокон в многокомпонентных смесях

Figure 4 - The effect of psyllium on the content of dietary fiber in multicomponent mixtures

В ходе проведения исследований было зафиксировано выраженное влияние псиллиума на количество и качество сырой клейковины смесей. При использовании псиллиума в количестве 1 % взамен части муки (образец № 2) количество сырой клейковины многокомпонентных смесей снизилось по сравнению с образцом № 1 с 29,0 % до 27,8 %, качество клейковины изменилось с 60 до 80 усл.ед. ИДК. При увеличении дозировки обогащающей добавки (образцы № 3–5) клейковина перестала формироваться в вязкую массу при отмывании, перейдя в категорию «неотмывающаяся». Возможно, это связано с тем, что 70 % пищевых волокон псиллиума являются растворимыми. А гельформирующая фракция, представленная в основном арабиноксиланом, обладает доказанным смазывающим эффектом, что при небольших дозировках псиллиума (1%) приводит к расслаблению белково-протеиназного комплекса пшеничной муки, а при увеличении дозировки препятствует формированию клейковинного каркаса.

Следует отметить, что в технологии галет предусмотрены определенные технологические мероприятия и использование улучшителей восстановительного действия для расслабления клейковинного каркаса теста, поэтому полученные результаты представляют определенный интерес именно в производстве галет и крекеров.

На рисунке 5 приведены результаты изучения влияния псиллиума на число падения мучных смесей.

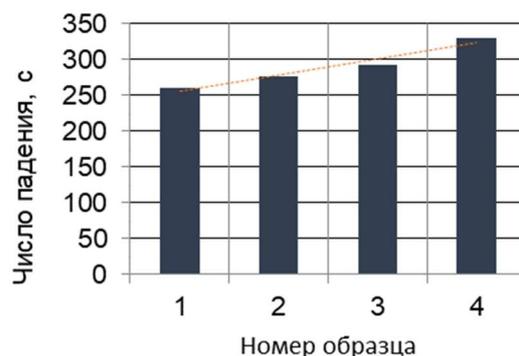


Рисунок 5 – Влияние псиллиума на число падения многокомпонентных смесей

Figure 5 - The effect of psyllium on the number of drops of multicomponent mixtures

Как видно из представленных данных, включение 1–7 % псиллиума в состав многокомпонентных смесей привело к увеличению числа падения относительно контрольного образца на 6–27 %. Вероятно, полученные значения свидетельствуют не об уменьшении активности α -амилазы многокомпонентных смесей, а об изменении вязкости клейстеризованной водно-мучной суспензии при внесении псиллиума.

В результате изучения качественных характеристик многокомпонентных смесей для галет наиболее перспективной была признана смесь № 4, которая обладала достаточно высоким содержанием пищевых волокон, приемлемыми значениями кислотности, влажности, водопоглотительной способности, числа падения и не имела ограничений при производстве мучных изделий из пшеничной муки по белизне и органолептическим показателям качества как смесь № 5.

Использование смесей с меньшим содержанием псиллиума было признано нецелесообразным из-за недостаточного содержания пищевых волокон.

В результате проведения ряда экспериментов была произведена выработка опытных образцов галет на мучных многокомпонентных смесях № 1 (контроль) и № 4 (с 5 % псиллиума). Полученные изделия имели круглую форму, без повреждений края, гладкую поверхность с проколами, в изделиях с псиллиумом на поверхности присутствовали заметные включения серого и коричневого цвета. Цвет галет был от золотисто-желтого (контроль) до светло-коричневого цвета (5 % псиллиума). Вид в изломе у полученных образцов был слоистым, с равномерной пористостью, без вздутий, закала и следов непромеса. Вкус и запах у опытного и контрольного образцов был идентичен, без посторонних привкусов и запахов.

ИЗУЧЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ГАЛЕТ

Дегустационная оценка полученных изделий позволила присвоить им «хорошую» категорию качества. Дегустаторам больше понравился цвет и состояние поверхности контрольного образца, баллы за данные показатели были выше, чем у образца с обогащающей добавкой. Однако последний получил более высокую оценку вида в изломе и вкуса, т.к. галеты с 5 % псиллиума были более хрупкими и имели более развитую слоистую структуру.

Анализ физико-химических показателей качества позволил определить, что псиллиум в количестве 5 % взамен части муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта не оказал выраженного влияния на массовую долю влаги, кислотность и щелочность галет: данные показатели качества остались на уровне контрольного образца. Однако позволил улучшить структуру изделий, что закономерно увеличило толщину галет и намокаемость – на 2 мм и 8 % соответственно относительно контроля. Вероятно, данные изменения произошли за счет ослабления белково-протеиназного комплекса многокомпонентных смесей с 5 % псиллиума, что, безусловно, требует дальнейшего изучения и детализации, происходящих при замесе и брожении теста биохимических, микробиологических и коллоидных процессов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведения ряда экспериментов были изучены качественные характеристики многокомпонентных смесей, предназначенных для выработки галет.

Определены зависимости органолептических свойств многокомпонентных смесей, от количества вносимого псиллиума.

Установлены закономерности влияния псиллиума на количество пищевых волокон, число падения, водопоглотительную способность многокомпонентных смесей.

Экспериментально подтверждено ослабление белково-протеиназного комплекса многокомпонентных смесей при использовании псиллиума в качестве источника пищевых волокон при их производстве.

Доказана возможность и целесообразность использования 5 % псиллиума в качестве источника пищевых волокон при производстве многокомпонентных смесей для галет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хайруллин В.А., Терехов И.Г., Шакирова Э.В. Население российской Арктики: численность, процессы, прогнозы // *Науковедение*. 2013. № 5. (18). С. 1–24.
2. Tokarev S.A. & Buganov A.A. (2007). Evaluation and prognosis of non-infectious risk in children in dependence on age and period of living in the Far North. *Alaska Med.* Vol. 49, (2). 142–144. (In Russ.).

3. Alaska Obesity Facts Report 2014. Alaska : Govern-nor Department of Health and Social Services, May 2014. 13–14. (In Russ.).

4. Sharma S. & Barr A.B. & Macdonald H.M. [et al.]. (2011). Vitamin D deficiency and disease risk among aboriginal Arctic population. *Nutr. Rev.* Vol. 69, (8). 468–478. (In Russ.).

5. Попов В.Г., Белина С.А., Федорова О.С. Развитие технологии производства специализированных продуктов питания для населения Арктики // *Ползуновский вестник*. 2017. № 3. С. 4–18.

6. Разработка рецептуры комплексной пищевой физиологически функциональной системы с целью получения специализированных продуктов питания для населения Арктики / В.Г. Попов [и др.] // *Ползуновский вестник*. 2019. № 1. С. 90-95 doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2019.01.017.

7. Изучение питания, антропометрических показателей и состава тела у коренного и пришлого населения российской Арктики / А.К. Батулин [и др.] // *Вопросы питания*. 2017. Т. 86. № 5. С. 11–16.

8. Краснова И.С., Семенов Г.В., Гучок Ж.Л. Кисломолочные сублимированные продукты питания для населения, работающего в условиях Крайнего Севера // *Российская Арктика*. 2022. № 19. С. 61–67. doi: 10.24412/2658-4255-2022-4-61-67.

9. Пищевая ценность национальных молочных продуктов с добавлением лесных ягод и дикорастущих пищевых растений Якутии / У.М. Лебедева [и др.] // *Вопросы питания*. 2015. Т. 84. С. 132-140. doi: 10.24411/0042-8833-2015-00071.

10. Морские водоросли как важный функциональный ингредиент и продовольственное сырье для обогащения рационов питания населения Арктической зоны Российской Федерации / О.А. Шепелева [и др.] // *Журнал медико-биологических исследований*. 2021. Т. 12. № 1. С. 99–113. doi: 10.37482/2687-1491-Z180.

11. Заворохина Н.В., Феофилактова О.В. Разработка адаптогенных напитков для снижения холодового стресса у жителей Крайнего Севера // *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности. АПК – продукты здорового питания*. 2022. № 3. С. 93–100. DOI 10.24412/2311-6447-2022-3-93-100.

12. Karomatov I.D. & Saidov K.O. Herb plantain block // *Biologiyava integral tibbiyot*. 2018. С. 226–235.

13. Роль пищевых волокон в коррекции пищеварения и запоров различной этиологии / Е.Ю. Плотникова [и др.] // *Медицинский совет*. 2019. № 14. С. 99–106. doi: 10.21518/2079-701X-2019-14-99-106.

14. ГОСТ 9404-88. Мука и отруби. Метод определения влажности : введ. 1990-01-01. Москва, 2007, 5 с.

15. ГОСТ 26361-2013. Мука. Метод определения белизны : введ. 2014-07-01. Москва, 2014, 19 с.

16. ГОСТ 27493-87. Мука и отруби. Метод определения кислотности по болтушке : введ. 1989-01-01. Москва, 2007, 4 с.

17. ГОСТ 27558-87. Мука и отруби. Методы определения цвета, запаха, вкуса и хруста : введ. 1989-01-01. Москва, 2007, 4 с.

18. ГОСТ 27839-2013. Мука пшеничная. Методы определения количества и качества клейковины : введ. 1990-01-01. Москва, 2007, 9 с.

19. ГОСТ ISO 3093-2016. Зерно и продукты его переработки. Определение числа падения методом Хагберга-Пертена : введ. 2017-07-01. Москва, 2019. 16 с.

20. ГОСТ 5897-90. Изделия кондитерские. Методы определения органолептических показателей

качества, размеров, массы нетто и составных частей : введ. 1992-01-01. Москва, 2012. 8 с.

21. ГОСТ 5898-2022. Изделия кондитерские. Методы определения кислотности и щелочности : введ. 2023-01-01. Москва, 2022. 17 с.

22. ГОСТ 5900-2014. Изделия кондитерские. Методы определения влаги и сухих веществ : введ. 2016-07-01. Москва, 2019. 14 с.

23. ГОСТ 10114-80. Изделия кондитерские мучные. Метод определения намокаемости : введ. 2017-07-01. Москва, 2019. 16 с.

Информация об авторах

А. С. Захарова – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология хранения и переработки зерна» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

С. И. Конева – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология хранения и переработки зерна» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

REFERENCES

1. Khairullin, V.A., Terekhov, I.G., Shakirova, E.V. Population of the Russian Arctic: numbers, processes, forecasts // *Naukovedenie*. 2013. (5). 1-24. (In Russ.).

2. Tokarev, S.A. & Buganov, A.A. (2007). Evaluation and prognosis of non-infectious risk in children in dependence on age and period of living in the Far North. *Alaska Med*. Vol. 49, (2). 142-144. (In Russ.).

3. Alaska Obesity Facts Report 2014. Alaska : Govern-nor Department of Health and Social Services, May 2014. 13-14. (In Russ.).

4. Sharma, S. & Barr, A.B. & Macdonald, H.M. [et al.]. (2011). Vitamin D deficiency and disease risk among aboriginal Arctic population. *Nutr. Rev.* Vol. 69, (No. 8). 468-478. (In Russ.).

5. Popov, V.G., Belina, S.A., Fedorova, O.S. Development of technology for the production of specialized food products for the population of the Arctic // *Polzunovsky vestnik*. 2017. (3). 4-18. (In Russ.).

6. Development of the formulation of a complex food physiologically functional system in order to obtain specialized food products for the population of the Arctic / V.G. Popov [et al.] // *Polzunovsky vestnik*. 2019. (1). 90-95. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU. 2072-8921. 2019.01.017.

7. The study of nutrition, anthropometric indicators and body composition in the indigenous and alien population of the Russian Arctic / A.K. Baturin [et al.] // *Questions of nutrition*. 2017. vol. 86. (5). 11-16. (In Russ.).

8. Krasnova, I.S., Semenov, G.V., Guchok, Zh.L. Dairy freeze-dried food products for the population working in the conditions of the Far North // *Russian Arctic*. 2022.(19). 61-67. (In Russ.). doi: 10.24412/2658-4255-2022-4-61-67.

9. Nutritional value of national dairy products with the addition of wild berries and wild-growing food plants of Yakutia / U.M. Lebedeva [et al.] // *Questions of nutrition*. 2015. (84). 132-140. (In Russ.). doi: 10.24411/0042-8833-2015-00071.

10. Seaweed as an important functional ingredient and

food raw materials for enriching the diets of the population of the Arctic zone of the Russian Federation / O.A. Shepeleva [et al.] // *Journal of Biomedical Research*. 2021. Vol. 12 (1). 99-113. (In Russ.). doi: 10.37482/2687-1491-Z180.

11. Zavorokhina, N.V., Feofilaktova, O.V. Development of adaptogenic beverages to reduce food stress in residents of the Far North // *Technologies of the food and processing industry. Agroindustrial complex - healthy food products*. 2022. (3). 93-100. (In Russ.). doi: 10.24412/2311-6447-2022-3-93-100.

12. Karomatov, I.D. & Saidov, K.O. Herb plantain block // *Biologiyava integral tibbiyot*. 2018. C. 226-235. (In Russ.).

13. The role of dietary fibers in the correction of food poisoning and constipation of various etiologies / E.Y. Plotnikova [et al.] // *Medical Council*. 2019. (14). 99-106. doi: 10.21518/2079-701X-2019-14-99-106. (In Russ.).

14. Flour and bran. Method for determining humidity: introduction (2007). GOST 9404-88 from 1 Jan. 1990. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).

15. Flour. Method for determining whiteness (2014). GOST 26361-2013 from 1 Jul. 2014. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).

16. Flour and bran. The method of determining acidity by a chatterbox. (2007). GOST 27493-87 from 1 Jan. 1989. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).

17. Flour and bran. Methods for determining color, smell, taste and crunch: introduction. (2007). GOST 27558-87 from 1 Jan. 1989. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).

18. Wheat flour. Methods for determining the quantity and quality of gluten. (2007). GOST 27839-2013 from 1 Jan. 1990. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).

19. Grain and its processed products. Determination of the number of falls of the Hagberg-Perten method (2019). GOST ISO 3093-2016 from 1 Jul. 2017. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).

20. Confectionery products. Methods for determining organoleptic indicators of quality, size, net weight and components. (2012). GOST 5897-90 from 1 Jan. 1992. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).

21. Confectionery products. Methods for determining acidity and alkalinity. (2022). GOST 5898-2022 from 1 Jan. 2023. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).

22. Confectionery products. Methods for determining moisture and dry substances. (2019). GOST 5900-2014 from 1 Jul. 2016. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).

23. Pastry flour products. Method for determining wetness. (2019). GOST 10114-80. from 1 Jul. 2017. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).

Information about the authors

A.S. Zakharova - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Grain Storage and Processing Technology, Polzunov Altai State Technical University.

S.I. Koneva - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Grain Storage and Processing Technology, Polzunov Altai State Technical University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 30 июня 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 06 мая 2024.

The article was received by the editorial board on 30 Juny 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 06 May 2024.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 637.052

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.020



ВЗАИМОСВЯЗЬ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕКТИНОВ И ИХ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Владимир Владимирович Кондратенко ¹, Евгения Юрьевна Агаркова ²

^{1,2} Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, Москва, Россия

¹ v_kondratenko@vnimi.org, <https://orcid.org/0000-0002-0913-5644>

² e_agarkova@vnimi.org, <https://orcid.org/0000-0003-1713-9407>

Аннотация. Установлены функциональные критерии взаимосвязи молекулярных характеристик пектиновых веществ и их физико-химических свойств. Систематизированы существующие представления и определены фундаментальные закономерности влияния катионного состава пищевой системы на проявление эмульгирующей и стабилизирующей эмульсии способности. Установлены оценочные критерии, связывающие комплекс функциональных критериев и физико-химические свойства пектиносодержащих пищевых систем и их характеристики.

Ключевые слова: молекулярные характеристики, пектины, желирование, гелеобразование, структурообразование, эмульгирование, критерии, свойства.

Для цитирования: Кондратенко В. В., Агаркова Е. Ю. Взаимосвязь молекулярных характеристик пектинов и их основных технологических свойств // Ползуновский вестник. 2024. № 2, С. 155–163. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.020. EDN: <https://elibrary.ru/CBHZGI>.

Original article

RELATIONSHIP OF MOLECULAR CHARACTERISTICS OF PECTINS AND THEIR MAIN TECHNOLOGICAL PROPERTIES

Vladimir V. Kondratenko ¹, Evgeniya Yu. Agarkova ²

^{1,2} All-Russian Dairy Research Institute, Moscow, Russia

¹ v_kondratenko@vnimi.org, <https://orcid.org/0000-0002-0913-5644>

² e_agarkova@vnimi.org, <https://orcid.org/0000-0003-1713-9407>

Abstract. Functional criteria for the relationship between the molecular characteristics of pectin substances and their physicochemical properties have been established. The existing ideas are systematized and the fundamental regularities of the influence of the cationic composition of the food system on the manifestation of emulsifying and emulsion stabilizing ability are determined. Evaluation criteria linking a set of functional criteria and physicochemical properties of pectin-containing food systems and their characteristics were established.

Keywords: molecular characteristics, pectins, gelation, gelation, structure formation, emulsification, criteria, properties.

For citation: Kondratenko, V.V., Agarkova, E.Yu. (2024). Relationship of molecular characteristics of pectins and their main technological properties. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 155-163. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.02.020. EDN: <https://CBHZGI>.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из путей обеспечения населения страны продуктами здорового питания является удовлетворение возрастающего спроса на высококачественные молочные продукты со стабильной структурой и привлекательными органолептическими характеристиками, сохраняющимися в течение всего срока годности [1–3]. Достижение данных технологических целей возможно только посредством модификации физико-химических свойств продукта путём внесения в его состав полигликанов, таких как крахмалы, агар-агар, ксантановая камедь, камедь рожкового дерева, каррагинаны, пектины и т.д. [4, 5].

Современный вектор совершенствования принципов применения пищевых добавок в составе продуктов заключается в переходе к формату «один продукт – один компонент», повышая тем самым потенциал нативности продукта за счёт сохранения высокой доли его основного – молочного – компонента, снижения себестоимости посредством уменьшения суммарной доли добавок в продукте, а также количества технологических операций для их внесения. Вследствие того, что из всех описанных пищевых добавок только пектин в силу особенностей своей молекулярной структуры имеет широкий спектр физико-химических свойств – от эмульгирующей и гелеобразующей способности до модификации вязкости и ингибирования синерезиса [6–9], – данная пищевая добавка полностью удовлетворяет заданному вектору.

В пищевой и перерабатывающей промышленности, а также в функциональном и специализированном питании, наиболее востребованными являются такие свойства, как эмульгирующая, желирующая, водоудерживающая и сорбционная способности, а также способность к модификации вязкости и стабилизации эмульсий и суспензий [7, 9, 10].

Пектиновые вещества обладают наибольшим спектром функционально-технологических свойств среди всех структурных полигликанов растительных биоресурсов [6, 8]. В силу особенностей молекулярной структуры пектиновые вещества могут способствовать образованию эмульсий. При этом механизм эмульгирования в целом заключается в образовании на поверхности частиц дисперсной фазы сильно гидратированного слоя из пектиновых молекул. Вследствие относительно равномерного распределения отрицательного заряда между частями возникает устойчивое отталкивание. Из-за увеличения вязкости дисперсионной среды

индуцированной присутствием пектина, интенсивность теплового движения частиц дисперсной фазы снижается, что при увеличении механической жёсткости поверхности частиц значительно снижает вероятность спонтанной агрегации. В результате образуется относительно устойчивая к расслаиванию эмульсия [11]. В настоящее время не существует единого представления о механизме эмульгирования. В [12, 13] показано, что на образование эмульсии значительное влияние оказывают такие молекулярные факторы пектина, как молекулярная масса, ферулоильная и ацетильная составляющая, степень метоксилирования и амидирования карбоксильных групп галактуронидных остатков, степень разветвлённости молекул пектина, насыщенность арабинанами и галактанами, содержание белка. Возможные механизмы эмульгирования представлены на рисунке 1.

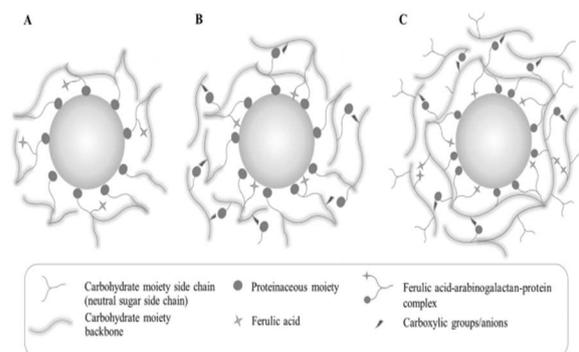


Рисунок 1 – Варианты механизма адсорбции свекольного пектина на границе раздела фаз «масло – вода» при стабилизации эмульсии (адаптировано из [14]): (а) модель петлевой и хвостовой адсорбции, (б) модель многослойной адсорбции, (в) модель адсорбции комплекса «феруловая кислота-арабиногалактан-белок»

Figure 1 - Variants for the mechanism of sugar beet pectin adsorption on the oil-water interface during emulsion stabilization (adapted from [14]): (a) loop and tail adsorption model, (b) multilayer adsorption model, (c) model of adsorption of the ferulic acid-arabinogalactan-protein complex

Leroux с коллегами в [15] предложил относительно простой механизм эмульгирования в присутствии пектина – модель петлевой и хвостовой адсорбции, согласно которой в среде «масло – вода» ковалентно связанный с арабиногалактанами в составе пектина белок выступает в роли своеобразного якоря, гидрофобно взаимодействуя с поверхностью шарика масла, уменьшая тем самым поверхностное натяжение. При этом галактуроновая часть формирует «хвосты», направлен-

ВЗАИМОСВЯЗЬ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕКТИНОВ И ИХ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

ные вовне от поверхности шарика. При наличии в пределах одной молекулы пектина нескольких участков, связанных с белком, они также вступают во взаимодействие с шариком масла. В результате фрагмент молекулы пектина между этими участками образует петлю. Несущие отрицательный заряд галактуроновые «хвосты» формируют заряд внешней поверхности масляно-пектинового комплекса, вследствие чего между соседними комплексами возникают силы электростатического отталкивания, препятствующие разделению эмульсии.

В то же время роль «якоря» могут играть также ацетильные и ферулоильные группы [16, 17]. В этом случае белок, присутствующий в составе пектина, ацетильные и ферулоильные группы вступают в гидрофобное взаимодействие с внешней поверхностью масляной капли, тогда как свободная углеводная часть пектиновых молекул формирует слой, покрывающий масляный шарик. При этом карбоксильные группы ассоциированных пектиновых молекул вступают в электростатическое взаимодействие с белковой составляющей свободных молекул пектина, приводя к образованию следующего слоя. Таким образом, может формироваться многослойная пектиновая оболочка вокруг каждого масляного шарика.

Однако в более поздних работах [12, 18] было показано, что, вероятнее всего, при образовании эмульсии в присутствии пектина имеет место более сложный механизм, задействующий метоксилированные карбоксильные группы в образовании дополнительных взаимодействий с гидрофобной поверхностью масляного шарика, связи между ферулоильными группами пектиновых молекул соседних слоёв, а также – арабинановые, галактановые и арабиногалактановые боковые ответвления, формирующие внешний гидратированный слой за счёт сорбции молекул воды дисперсионной среды.

По данным [19], при прочих равных условиях эмульгирующая способность пектиновых веществ в наибольшей степени проявляется при низких значениях pH (в пределах 2), существенно снижаясь при уменьшении активной кислотности до нейтральных значений (pH 6) (рисунок 2). При низких значениях pH вследствие уменьшения степени диссоциации свободных карбоксильных и гидроксильных групп в условиях избытка катионов H^+ увеличивается прочность взаимодействия гидрофобных составляющих пектиновых молекул с поверхностью масляного шарика и уменьшается электростатическое отталкива-

ние между отрицательно заряженными молекулами пектина. В результате формируется более плотная пектино-гидратная оболочка, препятствующая агрегации шариков.

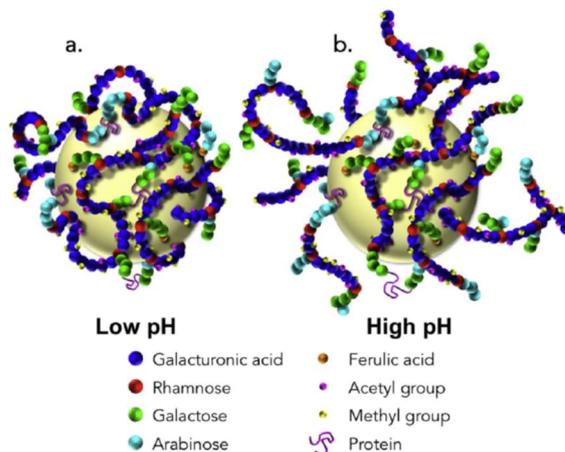


Рисунок 2 – Сорбция пектиновых веществ на поверхности жировой капли в воде (адаптировано из [13])

Figure 2 - Sorption of pectin substances on the surface of fat droplets in water (adapted from [13])

Среди коммерческих пектинов наиболее выраженными эмульгирующими свойствами обладают свекловичный и тыквенный пектины [20].

На стабильность эмульсий оказывают влияние катионы металлов и активная кислотность среды. Так, в [19] показано, что чем выше сходство пектиновых веществ к катионам, тем стабильность ниже и наоборот. При этом порядок влияния катионов металлов на стабильность эмульсии уменьшается в ряду $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Al^{3+} > Cr^{3+} > Zn^{2+} > Fe^{3+}$. Стабильность эмульсий уменьшается в отсутствие ферулоильных остатков, при снижении степени полимеризации арабинановых, галактановых и арабиногалактановых боковых ответвлений. При существенном нивелировании предыдущих факторов к дальнейшему уменьшению стабильности эмульсий приводит также снижение степени метоксилирования карбоксильных групп и ацетилирования гидроксильных групп уронидных остатков.

В настоящее время рассматривают два основных механизма стабилизации эмульсии – создание стерического препятствия для самопроизвольного агрегатирования масляных шариков и создания условий возникновения значимого электростатического отталкивания между соседними частицами [21] (рисунок 3). Эти механизмы могут быть задействованы как изолированно, так и совместно.

В соответствии с особенностями моле-

кулярной структуры пектиновых молекул есть все основания предполагать, что в присутствии их именно комбинация двух механизмов обеспечивает стабилизацию суспензий.

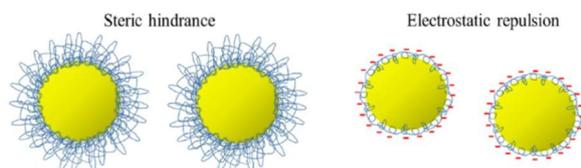


Рисунок 3 – Два механизма стабилизации эмульсий (адаптировано из [21])

Figure 3 - Two mechanisms of emulsion stabilization (adapted from [21])

Одним из востребованных технологических свойств пектина в составе продуктов является его желирующая способность, под которой понимают способность при определённых условиях образовывать оструктуренный гель [22]. Согласно существующим представлениям, основополагающим критерием, определяющим механизм желирования, является степень этерификации карбоксильных групп уронидных остатков пектиновых веществ метанолом [23]. Кроме того, некоторые авторы [24, 25] отмечают, что на процесс желирования могут оказывать влияние и такие молекулярные факторы, как уронидная и ацетильная составляющие, а также молекулярная масса. В силу химических особенностей, высокометоксилированные пектины (с DM > 50 %) желируют в кислой среде (pH ≤ 3,6) в присутствии значительного количества низкомолекулярных сахаров за счёт образования большого количества водородных связей между гидроксильными и карбоксильными группами и гидрофобного взаимодействия между метоксилированными карбоксильными группами в зонах межмолекулярного взаимодействия [26] (рисунок 5).

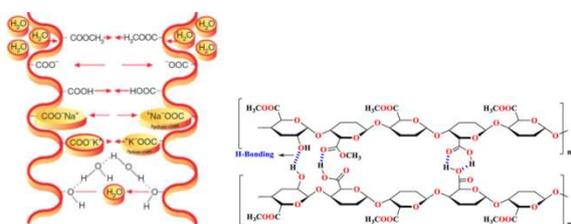


Рисунок 5 – Механизм желирования высокометоксилированного пектина в кислой среде [26]

Figure 5 - Gelling mechanism of highly methoxylated pectin in acidic medium [26]

В свою очередь, низкометоксилированные пектины (с DM < 50 %) вследствие наличия большого количества свободных кар-

боксильных групп желируют преимущественно в присутствии поливалентных катионов (рисунок 6).

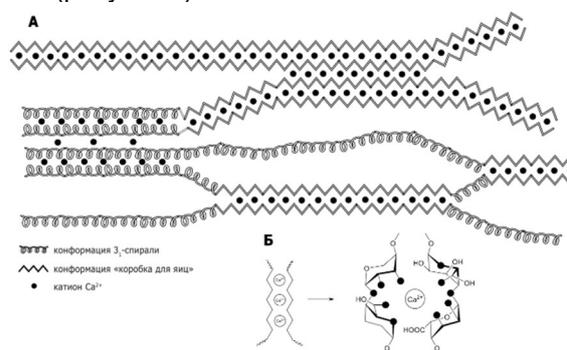


Рисунок 6 – Механизм желирования низкометоксилированного пектина в присутствии катионов Ca²⁺ [27]: А) «кабельная модель» по Goldberg et al. [28]; Б) модель конформации «коробка для яиц», адаптированная на основе модели галактуроната кальция по Braccini & Pérez [29] (на Б чёрные кружки – атомы кислорода, участвующие в формировании координационной связи)

Figure 6 - Gelling mechanism of low-methoxylated pectin in the presence of Ca²⁺ cations [27]: (A) The "cable model" according to Goldberg et al. [28]; B) model of the "egg box"-conformation, adapted from the model of calcium galacturonate by Braccini & Pérez [29] (black circles on B are oxygen atoms involved in the formation of the coordination bond)

Традиционно такой тип желирования объясняют образованием комплекса «пектин – катионы» в конформации так называемой «коробки для яиц» (калька с английского термина «eggbox»), где катионы в зонах взаимодействия связаны с карбоксильными группами галактуронидных остатков пектиновых молекул солевыми связями, а также множественными координационными связями с окрестными атомами кислорода [29]. Такого рода конформации имеют плоскую структуру. При этом значительная часть пектиновых молекул имеет конформацию правовращающей трёхзвенной спирали, в результате чего такие участки приобретают форму петель, а между ними и катионами поливалентных металлов в зонах межмолекулярного взаимодействия возникают хаотические солевые связи [27, 28]. Вне зависимости от механизма желирования высокая ацетильная составляющая оказывает отрицательное влияние на процесс.

Многофункциональность пектина является следствием высокой гетерогенности его молекулярной структуры, зависящей от достаточно большого количества факторов, таких как вид биоресурсов, из которых он про-

ВЗАИМОСВЯЗЬ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕКТИНОВ И ИХ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

изведён, условия роста и развития растительной ткани, условия и способ извлечения, химический состав среды и т.д. При этом следствием гетерогенности молекулярной структуры является сложность прогнозирования проявления физико-химических свойств пектина в силу того, что до настоящего времени не установлено однозначного функционального соответствия совокупности молекулярных характеристик выраженности проявления того или иного физико-химического свойства. Известны лишь некоторые «реперные» показатели, такие как степень этерификации (DM) карбоксильных групп пектина метанолом: при прочих равных условиях: если $DM > 60\%$, то такой пектин лучше желирует в кислой среде и в присутствии высокой концентрации сахара, а при $DM < 40\%$ лучше желирует в присутствии поливалентных катионов. Следствием этого является необходимость каждый раз эмпирически подбирать вариант использования пектина для достижения заданных технологических целей, что достаточно затратно как по времени, так и по ресурсам.

В связи с вышеизложенным весьма актуальными являются исследования, направленные на выявление функциональной взаимосвязи молекулярных характеристик пектинов и комплекса свойств пищевых систем в целом и на молочной основе в частности.

Целью являлось исследование функциональной взаимосвязи молекулярных характеристик пектинов и их технологических свойств в составе пищевых систем.

МЕТОДЫ

В качестве объектов исследований были использованы данные о молекулярных характеристиках и технологических свойствах пектиновых веществ, а также об иерархии влияния катионов, присутствующих в среде, на эмульгирующую способность пектиновых веществ, представленные в доступных иностранных литературных источниках.

Для формирования оценочных критериев классификации технологических свойств пектинов использовали принцип желательности Харрингтона по [30, 31] с каноническим представлением частной функции:

$$d_i = \exp\left\{-\exp\left[-(a_i + b_i \cdot x_i)\right]\right\}_{i \in \Omega}, \quad (1)$$

где d_i – значение i -й частной функции желательности, доли 1; a_i и b_i – константа и коэффициент i -й частной функции желательности; x_i – независимая переменная i -й частной функции желательности.

Математическую обработку данных осу-

ществляли с помощью табличного процессора Microsoft Excel 2010 с установленными надстройками «Пакет анализа» и «Поиск решения».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основании системного анализа литературных источников было установлено, что по технологическим свойствам, проявляемым пектином в составе пищевых систем, все извлекаемые из растительной ткани пектины могут быть классифицированы на четыре основные группы: по эмульгирующей, стабилизирующей и желирующей способностям, а также как модификаторы вязкости. Данная классификация предполагает возможность прогнозирования целевых технологических свойств пектинов на основе анализа их молекулярных характеристик.

Для обеспечения практической применимости данной классификации нами были определены ключевые молекулярные факторы пектиновых молекул, формирующие в совокупности технологические свойства. Априорно полагая наличие выраженного влияния на технологические свойства пектина величины и плотности заряда пектиновых молекул, в качестве одних из ключевых молекулярных факторов были определены доли этерифицированных метанолом (метоксилированных) и амидированных карбоксильных групп в общей совокупности карбоксильных групп уронидных остатков, уронидная составляющая и молекулярная масса. К ключевым факторам были отнесены ацетильная и ферулоильная составляющие, а также молярные доли остатков α -D(+)-галактурановой кислоты, рамнозы, галактозы и арабинозы.

Анализ данных показал, что адекватная оценка степени проявления технологических свойств пектина может быть выполнена только на основании критериев, включающих в свой состав комбинации молекулярных факторов. Так были установлены виды критериев, учитывающих величину удельного заряда пектиновой молекулы (D_{Sch}), влияние неравномерности распределения заряда с учётом доли зарядообразующих остатков (D_{Ach}), а также усреднённой степени развитости боковых ответвлений (D_{br}):

$$D_{Sch} = \frac{|100 - DM - 2 \cdot DAM|}{M_w}, \quad (2)$$

$$D_{Ach} = |100 - DM - 2 \cdot DAM| \times \times (100 - DM) \cdot P_{GalA} \cdot 10^{-4}, \quad (3)$$

$$D_{br} = \frac{Gal + Ara}{Rha + GalA} + 1, \quad (4)$$

где D_{am} – доля амидированных карбоксильных групп уронидных остатков, %; M_w – молекулярная масса, кДа; P_{GalA} – уронидная составляющая, %; $GalA$, Rha , Gal и Ara – мольные концентрации остатков, соответственно, α -D(+)-галактурановой кислоты, L-рамнозы, галактозы и арабинозы, моль %.

Принимая во внимание объективный факт того, что отдельные ключевые факторы тесно связаны с уронидной составляющей и, соответственно, степень их участия в формировании технологических свойств пропорциональна ей, для данных факторов (F) были установлены их нормируемые значения (F^*) в следующей форме:

$$F^* = F \cdot P_{GalA} \cdot 10^{-2}. \quad (5)$$

В сложных случаях для таких технологических свойств, как эмульгирующая и стабилизирующая способности, разработанная система критериев была дополнена критериями-комплексами:

$$D_{surf} = D_{Sch} \cdot (P_{Fer}^* + 1), \quad (6)$$

$$D_{st} = \frac{(P_{ac} + 1) \cdot (P_{Fer} + 1)}{D_{Sch}}, \quad (7)$$

где P_{ac} и P_{Fer} – соответственно, ацетильная и уронидная составляющие, %.

В отношении двух функционально-технологических свойств (модификация вязкости и желирующая способность), установлена зависимость комбинации критериев, необходимых для однозначной идентификации принадлежности, от величины фактора DM с критическим его значением 50 %.

Полная разработанная система критериев классификации таких технологических свойств пектинов, как эмульгирующая, стабилизирующая и желирующая способности, а также модификация вязкости, представлена в таблице 1. Для каждого критерия были установлены условия, определявшие форму частной функции желательности. Каждое условие включает одну пару значений критериев и соответствующие им значения частной функции желательности.

Таблица 1 – Оценочные критерии классификации технологических свойств пектинов

Table 1 - Evaluation criteria for classification of pectin' technological properties of pectins

Технологические свойства	Критерии	Условия, определяющие форму частной функции желательности
1	2	3
Эмульгирующая способность	P_{ac}^*	$Cond_{d_1} = \left[\frac{d_{11}}{k_{11}} : \Leftrightarrow \frac{0.63}{1.6}; \frac{d_{12}}{k_{12}} : \Leftrightarrow \frac{0.37}{2.2} \right]$
	D_{surf}	$Cond_{d_2} = \left[\frac{d_{21}}{k_{21}} : \Leftrightarrow \frac{0.63}{0.004}; \frac{d_{22}}{k_{22}} : \Leftrightarrow \frac{0.37}{0.01} \right]$
Стабилизирующая способность	D_{st}	$Cond_{d_1} = \left[\frac{d_{11}}{k_{11}} : \Leftrightarrow \frac{0.63}{82}; \frac{d_{12}}{k_{12}} : \Leftrightarrow \frac{0.37}{40} \right]$
Модификация вязкости	D_{Ach}	$Cond_{d_1} = \left[\frac{d_{11}}{k_{11}} : \Leftrightarrow \frac{0.80}{5.9}; \frac{d_{12}}{k_{12}} : \Leftrightarrow \frac{0.63}{14.8} \right]$
	D_{br} (при $DM > 50$)	$Cond_{d_2} = \left[\frac{d_{21}}{k_{21}} : \Leftrightarrow \frac{0.80}{1.27}; \frac{d_{22}}{k_{22}} : \Leftrightarrow \frac{0.37}{1.21} \right]$
	DM (при $DM > 50$)	$Cond_{d_3} = \left[\frac{d_{31}}{k_{31}} : \Leftrightarrow \frac{0.80}{72}; \frac{d_{32}}{k_{32}} : \Leftrightarrow \frac{0.37}{58} \right]$
	P_{Fer} (при $DM \leq 50$)	$Cond_{d_2} = \left[\frac{d_{21}}{k_{21}} : \Leftrightarrow \frac{0.63}{0.18}; \frac{d_{22}}{k_{22}} : \Leftrightarrow \frac{0.37}{0.24} \right]$
	P_{ac}^* (при $DM \leq 50$)	$Cond_{d_3} = \left[\frac{d_{31}}{k_{31}} : \Leftrightarrow \frac{0.37}{0.5}; \frac{d_{32}}{k_{32}} : \Leftrightarrow \frac{0.20}{1.7} \right]$
	DM (при $DM \leq 50$)	$Cond_{d_4} = \left[\frac{d_{41}}{k_{41}} : \Leftrightarrow \frac{0.63}{28}; \frac{d_{42}}{k_{42}} : \Leftrightarrow \frac{0.20}{40} \right]$

**ВЗАИМОСВЯЗЬ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕКТИНОВ
И ИХ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ**

Продолжение таблицы 1 / Continuation of table 1

1	2	3
Желирующая способность	D_{Sch}	$Cond_{d_1} = \left[\frac{d_{11}}{k_{11}} : \Leftrightarrow \frac{0.63}{0.01}; \frac{d_{12}}{k_{12}} : \Leftrightarrow \frac{0.37}{0.06} \right]$
	DM^* (при $DM > 50$)	$Cond_{d_2} = \left[\frac{d_{21}}{k_{21}} : \Leftrightarrow \frac{0.80}{72}; \frac{d_{22}}{k_{22}} : \Leftrightarrow \frac{0.37}{58} \right]$
	P_{ac} (при $DM > 50$)	$Cond_{d_3} = \left[\frac{d_{31}}{k_{31}} : \Leftrightarrow \frac{0.63}{0.12}; \frac{d_{32}}{k_{32}} : \Leftrightarrow \frac{0.37}{0.70} \right]$
	DM^* (при $DM \leq 50$)	$Cond_{d_2} = \left[\frac{d_{21}}{k_{21}} : \Leftrightarrow \frac{0.63}{18}; \frac{d_{22}}{k_{22}} : \Leftrightarrow \frac{0.20}{40} \right]$

Поскольку логарифмически преобразованная форма канонической формулы (1) имеет вид уравнения прямой $-\ln(-\ln d_i) = a_i + b_i \cdot x_i$, следовательно, задание двух точек является исчерпывающим условием, необходимым для расчёта численных значений константы a_i и коэффициента b_i .

Разработанный подход позволяет использовать эмпирические оценочные критерии, представляющие собой частную функцию желательности, если формирование технологического свойства определено одним исходным критерием, либо обобщённой функцией желательности вида:

$$D = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n d_i} \Big|_{m \in \mathbb{N}} \quad (8)$$

где D – обобщённое значение желательности, доли 1; n – количество частных функций желательности, входящих в обобщённое значение, шт.

При этом оценочные критерии представляют собою интервальные показатели, условием приемлемости которых служит соответствие значения интервалу [0.63; 1.00]. То есть пектин может быть классифицирован как однозначно проявляющий определённое технологическое свойство, если значение соответствующего данному свойству оценочного критерия находится в указанном интервале.

Однако при прочих равных условиях на проявление такого технологического свойства, как стабилизирующая способность, весьма неоднозначное влияние оказывает присутствие в среде фактора, сродство к которому определяется непосредственно природой пектиновых молекул. Этим фактором являются катионы металлов, способные связываться со свободными и амидированными карбоксильными группами пектиновых молекул, в случае поливалентности образуя межмолекулярные солевые мостики и/или комплексные соединения с задействованием множественных координационных связей.

Таблица 2 – Предположительный ряд влияния катионов металлов на стабильность эмульсий по степени его уменьшения (значения электрохимических потенциалов активностей катионов представлены на основании данных из [32])

Table 2 - Proposal series of metal cations influence on emulsion stability by the degree of its reduction (values of electrochemical potentials of cations' activities are presented on the basis of data from [32])

Направление уменьшения влияния	Катионы металлов (активность, В)									
		Li ⁺ (-3.040)	Cs ⁺ (-3.026)	Ba ²⁺ (-2.912)	K ⁺ (-2.931)	Sr ²⁺ (-2.899)	Ca ²⁺ (-2.868)	Na ⁺ (-2.710)	Mg ²⁺ (-2.372)	Be ²⁺ (-1.847)
	U ³⁺ (-1.660)	Ti ³⁺ (-1.209)	Mn ²⁺ (-1.185)	V ²⁺ (-1.175)	Cr ³⁺ (-0.744)	Zn ²⁺ (-0.762)	Fe ²⁺ (-0.447)	Cd ²⁺ (-0.403)	Co ²⁺ (-0.280)	Ni ²⁺ (-0.257)
	Mo ³⁺ (-0.200)	Sn ²⁺ (-0.138)	Pb ²⁺ (-0.126)	Fe ³⁺ (-0.037)	Ge ⁴⁺ (0.124)	W ³⁺ (0.100)	Bi ³⁺ (0.308)	Cu ²⁺ (0.342)	Ag ⁺ (0.800)	Hg ²⁺ (0.851)
Направление уменьшения влияния										

Примечание: закрашенные ячейки соответствуют рокировкам катионов с близкими значениями электрохимической активности, но с разной валентностью (пары «Ba²⁺ – K⁺» и «Ge⁴⁺ – W³⁺» – прогнозируемые в соответствии с предложенным механизмом)

Анализ существующих представлений о порядке влияния катионов металлов на стабильность эмульсии показал, что получающийся ряд (в отношении катионов Al^{3+} , Ca^{2+} , Cr^{3+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} и Zn^{2+}) практически идеально соответствует электрохимическому ряду активности металлов, за исключением Cr^{3+} и Zn^{2+} . Последнее, вероятно, связано с тем, что при сопоставимых (в пределах ~ 0.02 В) значениях активности сродство пектиновых веществ с катионами с большей степенью окисления – выше. Данное предположение даёт возможность прогнозирования влияния и других катионов на стабилизацию пектином эмульсий, расширяя их спектр. Исходя из этих соображений, можно предположить следующий ряд по степени уменьшения влияния на стабильность эмульсий (таблица 2). Переменные предложенного ряда явно указывают ключевые его факторы – величину электрохимической активности и валентность. Однако попытки определения математического описания положения того или иного катиона в данном ряду успеха не принесли, оставляя на данный момент степень проявления влияния катиона на стабильность эмульсии в виде эмпирического ряда. Исследования в данном направлении будут продолжены.

Также на данном этапе не удалось встроить предложенный ряд в систему критериев классификации пектинов по технологическим свойствам, что определяет целесообразность проведения дальнейших исследований в данном направлении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённых исследований была разработана классификация пектинов по технологическим свойствам на основе их молекулярных характеристик, основанная на двухуровневой системе критериев. Первый уровень критериев включает комбинации ключевых молекулярных характеристик, определяющих величину и равномерность заряда пектиновых молекул, их разветвлённость и насыщенность факторами межмолекулярного взаимодействия. Второй уровень критериев включает совокупность оценочных критериев как значений частных или обобщённых функций желательности, аргументами которых являются критерии первого уровня. Установлен интервал значений оценочных факторов [0.63; 1.00], принадлежность которому определяет целесообразность применения пектина как обладающего соответствующим технологическим свойством.

Предложено обоснование ряда катионов металлов по степени убывания их влияния на

устойчивость эмульсий, образованных с использованием пектинов, основанное на соответствии данного ряда ряду электрохимических активностей катионов с учётом большего влияния катионов с большей степенью окисления в парах, активность которых отличается не более чем на 0.02 В. Предложен расширенный ряд катионов, позволяющий прогнозировать их влияние на стабильность эмульсий.

Определена необходимость проведения дальнейших исследований, направленных на встраивание предложенного ряда в разработанную систему классификации пектинов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Зобкова З.С., Коровина Н.С. Развитие ассортимента пищевых, в том числе молочных продуктов функционального и специализированного назначения // Пищевые технологии будущего: инновационные идеи, научный поиск, креативные решения : Сборник материалов V международной научно-практической молодёжной конференции, посвящённой памяти Р.Д. Поландовой. Москва : ООО "Белый Ветер", 2023. С. 95–102.
2. Юрова Е.А., Фильчакова С.А., Ананьева Н.В. Молоко как основа для производства специализированных продуктов питания с улучшенными нутритивными свойствами // Вестник КрасГАУ. 2022. 5(182). С. 206–215. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-5-206-215>.
3. Бычкова Т.С., Сухотская Д.А. Применение антиоксидантов растительного происхождения в технологии молочной продукции // Товароведение, технология и экспертиза: инновационные решения и перспективы развития: Материалы III национальной научно-практической конференции. Москва : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина». 2022. С. 31–37.
4. Зависимость относительной биологической ценности йогурта от вида стабилизирующих добавок / З.С. Зобкова [и др.] // Молочная промышленность. 2021. (1). С. 24–26. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2021-01-24-26>.
5. Донская Г.А. Инновационные технологии обработки молока // Пищевая промышленность. 2021. (7). 55–58. <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.7.7.017>.
6. Донченко Л.В., Фирсов Г.Г. Пектин: основные свойства, производство и применение. М. : ДеЛипринт, 2007. 276 с.
7. Mohnen D. Pectin structure and biosynthesis // Current Opinion in Plant Biology. 2008. 11(3). P. 266–277. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2008.03.006>.
8. Bush Ph.L. (ed.). Pectin: Chemical Properties, Uses and Health Benefits. Nova Science Pub Inc., 2014. 268 p.
9. Yapo B.M., Gnagri D. Pectic Polysaccharides and Their Functional Properties / Ramawat K.G., Mérillon J.-M. (Eds) Polysaccharides: Bioactivity and Biotechnology. Springer, Cham, 2015. P. 1729–1749. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16298-0_6.
10. Полисахарид – контролируемая кристаллизация лактозы в сгущённом молоке с сахаром / И.А. Барковская [и др.] // FOOD METAENGINEERING. 2023. 1(4). С. 11–27. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.4.25>.
11. Alba K., Kontogiorgos V. Emulsification

ВЗАИМОСВЯЗЬ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕКТИНОВ И ИХ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

- properties of pectin / Kontogiorgos V. Pectin: technological and physiological properties. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2020. P. 83–97. https://doi.org/10.1007/978-3-030-53421-9_5.
12. The Emulsifying and Emulsion-Stabilizing Properties of Pectin: A Review / E.D. Nguémazong [et al] // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2015. 14(6). P. 705–718. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12160>.
13. Alba K., Kontogiorgos V. Pectin at the oil-water interface: Relationship of molecular composition and structure to functionality // Food Hydrocolloids. 2017. (68). P. 211–218. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.07.026>.
14. Sugar Beet Pectin and Its Diverse Uses / M. Djordjević [et al] / Misra V., Srivastava S., Mall A.K. (eds) Sugar Beet Cultivation, Management and Processing. Springer, Singapore, 2022. P. 971–1005. https://doi.org/10.1007/978-981-19-2730-0_48.
15. Emulsion stabilizing properties of pectin / J. Leroux [et al] // Food Hydrocolloids. 2003. 17(4). P. 455–462. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(03\)00027-4](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(03)00027-4).
16. Liu Zh., Guo X., Meng H. Added ferulic acid enhances the emulsifying properties of pectins from different sources // Food Hydrocolloids. 2020. 100, 105439. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105439>.
17. Siew C.K., Williams P.A. Role of protein and ferulic acid in the emulsification properties of sugar beet pectin // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2008. 56(11). P. 4164–4171. <https://doi.org/10.1021/jf073358o>.
18. Chen H., Fu X., Luo Zh. Effect of molecular structure on emulsifying properties of sugar beet pulp pectin // Food Hydrocolloids. 2016. 54(A). P. 99–106. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.09.021>.
19. Influence of cations, pH and dispersed phases on pectin emulsification properties / Ş. Ürüncüoğlu [et al] // Current Research in Food Science. 2021. (4). P. 398–404. <https://doi.org/10.1016/j.crf.2021.05.008>.
20. Influence of Arabinan Fine Structure, Galacturonan Backbone Length, and Degree of Esterification on the Emulsifying Properties of Acid-Extracted Sugar Beet Pectins / H. Eichhöfer [et al] // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2023. 71(4). P. 2105–2112. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c07460>.
21. Multiscale combined techniques for evaluating emulsion stability: A critical review / H. Niu [et al] // Advances in Colloid and Interface Science. 2023. (311). 102813. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2022.102813>.
22. Донченко Л.В. Технология пектина и пектиновых продуктов : учеб. пособие. М. : ДеЛи, 2000. 256 с.
23. BeMiller J.N. Carbohydrate Chemistry for Food Scientists (Third Edition). Cambridge: Woodhead Publishing and AACC International Press, 2019. 427 p. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-01960-5>.
24. Preparation and properties of enzymatically and chemically modified sugar beet pectins / H.Ch. Buchholt [et al] // Carbohydrate Polymers. 2004. 58(2). P. 149–161. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.06.043>.
- 25 Williams M.A.K. Pectin Gelation and Its Assembly into Functional Materials / Kontogiorgos V. Pectin: Technological and Physiological Properties. Springer Cham, 2020. P. 125–148. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-53421-9_7.
26. Value Addition to Agro-Industrial Waste Through Pectin Extraction: Chemometric Categorization, Density Functional Theory Analysis, Rheology Investigation, Optimization Using Response Surface Methodology and Prospective Applications Through Hydrogel Preparation / H. Rana [et al] // Journal of Polymers and the Environment. 2023. <https://doi.org/10.1007/s10924-023-03103-6>.
27. Kayser M. Studien zu den chemischen Modifizierungen von Pektin und Polygalacturonsäure / Dissertation zur Erlangung des wissenschaftlichen Grades „Doctor rerum naturalium“. Jena: Friedrich-Schiller-Universität Jena, 2020. 149 p. <https://doi.org/10.22032/dbt.44860> (In Germ.).
28. Methyl-esterification, de-esterification and gelation of pectins in the primary cell wall / R. Goldberg [et al] / Visser J., Voragen A.G.J. (Eds). Progress in Biotechnology. V. 14. 1996. P. 151–172. [https://doi.org/10.1016/S0921-0423\(96\)80253-X](https://doi.org/10.1016/S0921-0423(96)80253-X).
29. Braccini I., Pe´rez S. Molecular Basis of Ca²⁺-induced Gelation in Alginates and Pectins // Biomacromolecules. 2001. 2(4). P. 1089–1096. <https://doi.org/10.1021/bm010008g>.
30. Галстян А.Г. Развитие научных основ и практические решения совершенствования технологий, повышения качества и расширения ассортимента молочных консервов : дис. ... д-ра техн. наук. М. : 2009. 312 с.
31. Bikbulatov E.S., Stepanova I.E. Harrington's desirability function for natural water quality assessment // Russian Journal of General Chemistry. 2011. (81). P. 2694–270. <https://doi.org/10.1134/S1070363211130111>.
32. Vanýsek P. Electrochemical Series / Haynes W.M., Lide D.R., Bruno Th.J. (Eds) CRC Handbook of Chemistry and Physics. 95th Ed. Boca Raton: CRC Press, 2014. P. 5–80. <https://doi.org/10.1201/b17118>.

Информация об авторах

В. В. Кондратенко – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории биотехнологии молока и молочных продуктов ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности».

Е. Ю. Агаркова – доктор технических наук, заведующий лабораторией биотехнологии молока и молочных продуктов ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности».

Information about the authors

V.V. Kondratenko - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher, Laboratory for Milk and Dairy Products Biotechnology, All-Russian Research Dairy Institute.

E.Yu. Agarkova - Doctor of Technical Sciences, Head of Laboratory for Milk and Dairy Products Biotechnology, All-Russian Research Dairy Institute.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 23 июня 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 06 мая 2024.

The article was received by the editorial board on 23 Juny 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 06 May 2024.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.655

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.021



РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ МУКИ ИЗ ЗЕРНА ТРИТИКАЛЕ

Гулжан Ералиевна Жумалиева ¹, Гульнара Сундетбаевна Актокалова ²,
Рабига Касымбековна Касымбек ³

^{1, 2, 3} ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности, Алматы, Казахстан

¹ guljan_7171@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5028-465X>

² g.aktokalova@rpf.kz, <https://orcid.org/0000-0003-1025-4234>

³ r.kassimbek@rpf.kz, <https://orcid.org/0000-0003-4560-8311>

Аннотация. Одним из перспективных видов сырья для производства мучных кондитерских изделий является тритикале, который обладает высокой урожайностью, устойчивостью к заморозкам и болезням. Тритикалевая мука имеет сбалансированный состав минеральных веществ, витаминов, белка, крахмала и незаменимых аминокислот. В качестве обогащающего компонента в рецептуре печенья можно рекомендовать тыкву и зародыши пшеницы. Продукты переработки растительного сырья являются богатым источником растительного белка, клетчатки, витаминов, минеральных веществ, пектиновых веществ и клетчатки.

Разработаны рецептура и технология сахарного печенья с использованием тритикалевой муки сорта «Бару», тыквы и зародышей пшеницы. Установлено, что использование продуктов переработки растительного сырья в рецептуре сахарного печенья способствует повышению потребительских свойств готовых изделий. Показатели «массовая доля влаги», «массовая доля общего сахара» и «массовая доля жира» в образцах печенья не превышали нормативных значений, установленных ГОСТ 24901-2014 «Печенье. Общие технические условия». Внесение тыквы способствовало снижению намокаемости без ухудшения органолептических характеристик. По микробиологическим показателям образцы сахарного печенья соответствовали требованиям ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». Замена пшеничной муки на тритикалевую в производстве мучных кондитерских изделий, в частности, сахарного печенья, позволит компенсировать неполноценность белков пшеничной муки.

Ключевые слова: мучные кондитерские изделия, сахарное печенье, тыква, зародыш пшеницы, тритикале отечественного производства.

Благодарности: Данная работа была поддержана финансированием научно-технической программы Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан на 2021–2023 годы BR 10764977 «Разработка технологий производства БАДов, ферментов, заквасок, крахмала, масел и др. в целях обеспечения развития пищевой промышленности» в рамках выполнения проекта «Разработка технологии хлебобулочных, мучных кондитерских изделий и комбикормов на основе новых отечественных сортов тритикале».

Для цитирования: Жумалиева Г. Е., Актокалова Г. С., Касымбек Р. К. Разработка технологии мучных кондитерских изделий с применением отечественной муки из зерна тритикале // Ползуновский вестник. 2024. № 2, С. 164–174. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.021. EDN: <https://elibrary.ru/FSMUGJ>.

Original article

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF FLOUR CONFECTIONERY PRODUCTS USING DOMESTIC FLOUR FROM TRITICALE GRAIN

Gulzhan E. Zhumalieva¹, Gulnara S. Aktokalova², Rabiga K. Kasymbek³

^{1, 2, 3} LLP "Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry", Kazakhstan, 050060, Almaty, Gagarin Avenue 238 G

¹ guljan_7171@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5028-465X>

² g.aktokalova@rpf.kz, <https://orcid.org/0000-0003-1025-4234>

³ r.kassimbek@rpf.kz, <https://orcid.org/0000-0003-4560-8311>

Abstract. One of the promising types of raw materials for the production of flour confectionery is triticale, which has a high yield, resistance to frost and disease. Triticale flour has a balanced composition of minerals, vitamins, protein, starch and essential amino acids. Pumpkin and wheat germ can be recommended as an enriching component in the cookie recipe. Plant raw materials processing products are a rich source of plant protein, fiber, vitamins, minerals, pectins and fiber.

The formulation and technology of sugar cookies using triticale flour of the Baru variety, pumpkin and wheat germ have been developed. It has been established that the use of processed vegetable raw materials in the formulation of sugar cookies contributes to an increase in the consumer properties of finished products. The indicators "mass fraction of moisture", "mass fraction of total sugar" and "mass fraction of fat" in the cookie samples did not exceed the standard values established by GOST 24901-2014 "Cookies. General technical conditions". The introduction of pumpkin contributed to a decrease in wetness without deterioration of organoleptic characteristics. According to microbiological indicators, the sugar cookie samples met the requirements of TR CU 021/2011 "On food safety". Replacing wheat flour with triticale flour in the production of flour confectionery products, in particular sugar cookies, will compensate for the inferiority of wheat flour proteins.

Keywords: flour confectionery, sugar cookies, pumpkin, wheat germ, domestic triticale.

Acknowledgements: This work was supported by the funding of the scientific and technical program of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan for 2021-2023 BR 10764977 "Development of technologies for the production of dietary supplements, enzymes, starter cultures, starch, oils, etc. in order to ensure the development of the food industry" within the framework of the project "Development of technology for bakery, flour confectionery and animal feed based on new domestic varieties of triticale".

For citation: Zhumaliyeva, G.E., Aktokalova, G.S. & Kasymbek, R.K. (2024). Development of technology of flour confectionery products using domestic flour from triticale grain. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 164-174. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.02.021. EDN: <https://FSMUGJ>.

ВВЕДЕНИЕ

Питание играет ключевую роль во влиянии на здоровье и долголетие людей, так как все необходимые питательные вещества человек получает из пищи. Пищевые компоненты в результате метаболизма превращаются в строительные материалы для клеток, обеспечивая организм необходимыми компонентами для роста и энергии.

Одним из традиционных источников важных питательных веществ для человека являются мучные кондитерские изделия, которые пользуются популярностью среди населения [1].

Для удовлетворения спроса на такие продукты необходимо обеспечить опреде-

ленные органолептические характеристики. Для создания подобных продуктов требуется использование особых полуфабрикатов, включающих в себя хорошо измельченную муку и другие компоненты. Известно, что обычная мука имеет недостаточное количество питательных веществ, поэтому при создании полуфабрикатов ее необходимо дополнить сырьем, содержащим большое количество важных для организма аминокислот, витаминов и минеральных веществ. Таким сырьем является тритикалевая мука, фруктовые и овощные порошки и пасты, сухие молочные и яичные продукты и др [2].

В настоящее время индустрия производства муки занимается изготовлением пшеничной муки, которая предназначена для

различных целей. Существует стандарт, который регламентирует выпуск широкого ассортимента сортов и типов муки с различным содержанием клейковины, зольностью и степенью помола. Однако не существует строгих требований к свойствам муки для производства разнообразных хлебобулочных и кондитерских изделий, что приводит к недостаточной эффективности использования сырья и снижению прибыльности предприятий мукомольной и смежных отраслей. Это также мешает обеспечить стабильное качество готовой продукции [3, 4].

Специалисты в области кондитерского и хлебопекарного производства предъявляют различные требования к муке, используемой в производстве разнообразных продуктов. Количественные и качественные характеристики углеводно-амилазного и белково-протеиназного комплексов зерна, а следовательно, и состав компонентов муки, подвержены существенным колебаниям, оказывающим сильное влияние на ее технологические свойства.

Исследование, проведенное Zhang H., Zhang W., Xu C., Zhou X., выявило, что степень помола муки влияет на активность ферментов. В мелкодисперсной муке ферментативное расщепление крахмала и белков происходит более легко, что приводит к более высокой газообразующей способности мелкодисперсной муки и более низкой газодерживающей способности по сравнению с мукой крупной дисперсности [5].

Torbica A., Belović M. и Tomić J. установили, что мелкодисперсная мука ведет к негативным последствиям, таким как уменьшение объема готовой продукции, быстрое окисление, появление темной корки и нечеткость формы изделий [6].

Также Федотов В.А. доказал, что обработка муки с содержанием клейковины от 17 % до 26 % приводит к производству улучшенного качества сахарного и затяжного печенья в сравнении с использованием муки, содержащей 31–34 % клейковины, которую обычно считали эталоном [7].

Технологические характеристики муки, влияющие на возможность производства высококачественной выпечки, в первую очередь определяются количеством и качеством клейковины. Уровень клейковины в основном зависит от типа выпечки из данной муки. Например, затяжное печенье лучше всего получается из муки среднего содержания клейковины и низкого качества. Печенье с длинным временем производства, приготовленное из муки с высоким содержанием клей-

ковины и средним качеством клейковины, может деформироваться во время выпечки и образовывать пузыри на поверхности.

В исследованиях Кондратенко Р.Г. было обнаружено, что для производства сахарного печенья рекомендуется использовать муку с клейковиной среднего и низкого качества. Сахарное печенье из муки с высоким содержанием клейковины будет уступать по качеству продукции из муки среднего и низкого качества клейковины, проявляясь в характеристиках, таких как влажность, пористость и величина подъема во время выпечки [8, 9].

Для пирожных и печенья рекомендуется использовать муку с содержанием клейковины от 30 % до 35 % слабой и средней по качеству.

Исследователь Федотов В.А. также выяснил, что для приготовления кексов и некоторых других мучных кондитерских изделий лучше всего использовать муку из мягкозернового пшеничного зерна с частицами размером до 30 мкм [9, 10].

Онгарбаева Н.О., Жанабаева К.К., Нургожина Ж.К. подтвердили, что питательная ценность муки из тритикале, также как и других типов муки, зависит от химического состава зерна и выхода муки [11].

Изучение отечественных и зарубежных данных свидетельствует о том, что технологические характеристики муки, влияющие на возможность получения из неё высококачественной продукции, зависят от множества факторов, таких как тип зерна, его сорт, район происхождения, химический состав, структурно-механические свойства зерна, содержание и качество клейковины, степень стекловидности, дисперсность и фракционный состав муки.

Для производства хлебобулочных и кондитерских изделий основным сырьем является мука, полученная из различных злаковых культур. Исследование новых сортов зерновых, дающих муку с улучшенными технологическими свойствами, представляется целесообразным. Такая мука может быть использована в производстве кондитерских изделий в качестве основного сырья [12].

Переработка бахчевых культур, произрастающих в большом количестве в южных районах РК, является для товаропроизводителей актуальной задачей. Выжимки арбуза, дыни и тыквы, которые выделены в процессе получения сока, обладают высокой пищевой ценностью и антиоксидантными свойствами. Следовательно, рационально внедрить технологию использования этих выжимок как дополнительного сырья для производства полуфабрикатов [13].

Исследование научной и технической ли-

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ МУКИ ИЗ ЗЕРНА ТРИТИКАЛЕ

температуры по определению ключевых направлений развития в области производства пищевых продуктов показывает перспективность новых подходов к обработке сырья и его использованию в пищевой промышленности.

В связи с этим различные хлебобулочные изделия, представляющие собой группу разнообразных продуктов с высоким содержанием энергии и относительно с низкой влажностью, а также значительным количеством сахара и жиров, могут рассматриваться как перспективные основы для обогащения ассортимента пищевых продуктов. Среди наиболее популярных у населения видов хлебобулочных кондитерских изделий выделяется сахарное печенье. Поддержание постоянного потребления этих продуктов в качестве объекта обогащения обеспечивает возможность предоставить всем категориям населения регулярный доступ к необходимым микроэлементам. При обогащении изделий этой группы пищевыми волокнами, минералами и другими функциональными компонентами позволяет повысить их питательную ценность и полезность для здоровья. При этом важным технологическим риском при обогащении пищевых продуктов с изменением рецептурного состава является изменение органолептических характеристик, что требует особого внимания при разработке пищевой продукции.

Включение тыквы и зародышей пшеницы в производство хлебобулочных кондитерских изделий является актуальной, поскольку в настоящее время в Казахстане отсутствует производство изделий с использованием зародышей пшеницы и тыквы для производства сахарного печенья.

Тыква является ценным растительным сырьем с высоким содержанием пектинов и витаминов. Исследования показывают, что добавление семян тыквы благоприятно влияет на биологические, коллоидные и микробиологические процессы при тестоприготовлении. Она активизирует процесс брожения, способствует продлению срока хранения хлебобулочной продукции, а также обогащает ее витаминами [14]. Плоды тыквы обладают высоким содержанием воды в пределах 85–94 %, и углеводы (8–12 %) главным образом представлены полисахаридами. Химический состав тыквенных плодов (таблица 1) в значительной мере зависит от различных технологических методов выращивания, разновидности и сорта, а также почвенно-климатических условий и других факторов.

Зародыш пшеницы – это самая ценная и активная часть зерна, идеально сбалансированный комплекс разнообразных питательных веществ, витаминов, микроэлементов

[15]. Белковая часть зародыша обладает повышенной биологической ценностью, являясь концентратом структурных и ферментативных белков, схожих по своим свойствам с белками животных тканей. В зародыше от 17,7 до 35 % белка, который включает в основном альбумин и глобулин. Липидов в среднем около 10 %. Минеральные вещества составляют 3,9–6,4 % и представлены в основном калием, фосфором, магнием, железом. В зародыше сосредоточено около 60 % витаминов целого зерна пшеницы, которые в основном представлены В1 (6,2 мг %) В2 (1,45 мг %), В3 (2,5 мг %), РР (7,5 мг %) и группы Е (15,8 мг %). Зародыш пшеницы богат ненасыщенными жирными кислотами, главными из которых являются линолевая (18:2) и линоленовая (18:3)[16].

Таблица 1 – Химический состав тыквы

Table 1 - Chemical composition of pumpkin

Наименование компонента	Содержание компонента
Белки, г	1
Жиры, г	0,1
Углеводы, г	4,4
Пищевые волокна, г	2
Органические кислоты, г	0,1
Калорийность, кКал	22
<i>Витамины, мг %</i>	
В ₁	0,05
В ₂	0,065
В ₃	0,4
В ₆	0,11
В ₉	14
РР	0,5
Е	0,35
<i>Макроэлементы (мг на 100 г)</i>	
кальций	до 40
магний	14
натрий	4
калий	204
фосфор	25
хлор	19
сера	18
<i>Микроэлементы (на 100 г)</i>	
железо	0,4 мг
цинк	0,24 мг
йод	1 мкг
медь	180 мкг
марганец	0,04 мг
фтор	86 мкг
кобальт	1 мкг

Поэтому создание новых рецептур мучных

кондитерских изделий с добавлением муки из нового отечественного сорта тритикале, зародыша пшеницы и тыквы с повышенной биологической и пищевой ценностью и разработка технологии сахарного печенья являются актуальными направлениями в области совершенствования пищевой технологии.

В связи с этим разработка научно обоснованных оптимальных технологий переработки новых высокоурожайных отечественных сортов тритикале и новых видов полуфабрикатов на основе муки тритикале и добавок с улучшенными органолептическими свойствами, увеличенной пищевой и биологической ценностью становится актуальной и востребованной.

Цель – расширение ассортимента производства мучных кондитерских изделий с применением тритикалевой муки из новых отечественных сортов тритикале.

Новизна исследований. Разработка мучных кондитерских изделий с применением тритикалевой муки из отечественных новых сортов в соответствии с научно обоснованными реологическими и физико-химическими характеристиками, биологической и энергетической ценностью.

МЕТОДЫ

Основными объектами разработки служили сахарное печенье на основе тритикалевой муки и с добавлением тыквы и зародыша пшеницы, тритикале. В качестве объектов исследования были выбраны следующие ингредиенты: мука тритикалевая, тыква, зародыш пшеницы, сахар, меланж, разрыхлитель, маргарин и ванилин.

Объектами исследования является мука из нового отечественного сорта тритикале «Бару».

Таблица 2 – Качественные показатели муки тритикале сорта «Бару»

Table 2 - Qualitative indicators of triticale flour of the "Baru" variety

Наименование показателя	Мука из сорта тритикале «Бару»
Кислотность, град	4,0
Влажность, %	8,0
Число падения, с	66
Белизна, %	50,9
Выход муки, %	64,1
Количество клейковины, %	24,4
Растяжимость, см	10 (средняя)
Качество и характеристика клейковины на приборе ИДК, ед.пр.	67,5 (I группа, хорошая)
Органолептическая оценка	
Цвет	Светло-желтый
Вкус	Сладковатый
Запах	Без запаха

ру». Муку размалывали на мельнице Бюлера.

Экспериментальные исследования проводили с помощью ниже приведенных современных методов, позволяющих на основе комплекса показателей получить характеристику сырья: ГОСТ 10444.15-94 Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов; ГОСТ 31904-2012 Продукты пищевые. Методы отбора проб для микробиологических испытаний; ГОСТ 31747-2012 Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий); ГОСТ 10444.12-88 Продукты пищевые. Метод определения дрожжей и плесневых грибов; ГОСТ 27558-87 Мука и отруби. Методы определения цвета, запаха, вкуса и хруста; ГОСТ 9404-88 Мука и отруби. Метод определения влажности; ГОСТ 27839-2013 Мука пшеничная. Методы определения количества и качества клейковины; ГОСТ 27494-87 Мука и отруби. Методы определения зольности; ГОСТ 27676-88 Зерно и продукты его переработки. Метод определения числа падения.

В результате научных исследований разработана технология мучных кондитерских изделий с применением тритикалевой муки, зародыша пшеницы и тыквы.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для разработки технологии мучных кондитерских изделий (сахарное печенье) использовали тритикалевую муку сорта «Бару», тыкву и зародыш пшеницы.

В связи с этим, исследовали качественные показатели тритикалевой муки сорта «Бару» (таблица 2), зародыш пшеницы и тыквы.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ МУКИ ИЗ ЗЕРНА ТРИТИКАЛЕ

Тритикале содержит: воды – 13,0 %, белков – 13,29 %, углеводов – 60,11 %, жиров – 2,10 % и золы – 1,44 %. В белке присутствуют такие незаменимые аминокислоты, как лизин, валин, треонин, глицин, аргинин и другие. Тритикале содержит на 3–4 % больше белка, чем рожь, и на 1,5 % больше, чем пшеница.

Возможность применения муки тритикале при производстве хлебобулочных изделий привлекает внимание многих, начиная с момента появления данного культурного растения. Ее высокое содержание белка превосходит пшеницу в 1,2–1,3 раза и рожь в 1,5 раза. Многочисленные исследования показывают, что тритикалевая мука отлично подходит для изготовления печенья и других сладостей, так как содержит небольшое количество клейковины низкого качества, обладая при этом свойствами мягкой пшеничной муки. Зерно тритикале обладает повышенной активностью амилолитических ферментов, в частности α -амилаз, что способствует быстрому формированию и разжижению теста, а также образованию большого количества декстринов за счет ферментативного гидролиза крахмала. Конечные мучные кондитерские изделия обладают немного влажным и липким мякишем. Поэтому при производстве муки из зерна тритикале необходимо уделить особое внимание показателю, отражающему активность амилолитических ферментов.

Одним из значительных преимуществ тритикалевой муки является ее богатый аминокислотный состав по сравнению с мукой из зерна пшеницы. Высокую питательную ценность продуктов из этой культуры обеспечивает белок, содержащий повышенное количество аминокислот. Таким образом, химический состав зерна тритикале подтверждает целесообразность его использования для производства различных сортов и видов муки, что позволит расширить сырьевую базу для производства некоторых видов мучных кондитерских изделий [17].

Использование продуктов переработки тыквенных культур в производстве выпечки способствует обогащению изделий полезными веществами, такими как клетчатка, цинк, магний, фосфор, кальций, железо, протеины, а также витамины Е, В, С и РР. Это значительно повышает питательную ценность конечного продукта. Тыква обладает высоким содержанием углеводов (сахарозы, крахмала), витаминов (С, В1, В2, РР, Е, каротина) и сухих веществ, что позволяет снизить калорийность и использовать меньше основных сырьевых ресурсов [18].

Пшеничные зародыши являются одним из побочных продуктов мукомольной промышленности наряду с отрубями и тонкой мукой. Они являются ценным источником витаминов группы В, витамина Е, белков с незаменимыми аминокислотами, а также липидов, что делает их ценным компонентом для производства пищевых добавок и лечебно-профилактических препаратов. Пшеничные зародыши богаты около 20 макро- и микроэлементами, включая фосфор (более 1 %), калий (более 1 %), натрий (свыше 50 мг/кг), железо (около 100 мг/кг), медь, цинк, кобальт и другие микроэлементы [19, 20, 21].

Таким образом, создание новых рецептов мучных кондитерских изделий с использованием муки из нового отечественного сорта тритикале, зародышей пшеницы и тыквы с улучшенной биологической и пищевой ценностью, а также разработка технологии производства сахарного печенья являются актуальными направлениями в области совершенствования пищевой промышленности.

Для создания рецептуры сахарного печенья была задействована традиционная основа для хлебобулочных изделий (сахарное печенье). Чтобы проверить возможность применения муки из тритикале, были проведены эксперименты на выпечку печенья из сорта тритикале «Бару» с добавлением тыквы и зародышей пшеницы в различных пропорциях. Зародыши пшеницы измельчали в лабораторной мельнице, тыкву очистили от семян и кожуры, мякоть измельчили блендером до однородной консистенции.

Замес теста производили в тестомесильной машине. Измельченный маргарин с сахаром сбивали в течение 3–5 минут до полного растворения кристаллов сахара, вносили меланж и сбивали массу до увеличения ее объема. Затем в полученную массу добавляли тыкву, ванилин и разрыхлитель, после чего смеси тритикалевой муки и измельченных зародышей пшеницы смешивали в течение 10–15 минут до получения теста однородной консистенции, проводили разделку теста и выпекали при температуре 190–200 °С в течение 10–15 минут.

Чтобы определить оптимальную дозировку зародыша пшеницы при выпечке для сахарного печенья, были приняты образцы:

Опыт 1 – с внесением зародыша пшеницы в количестве 4 %;

Опыт 2 – с внесением зародыша пшеницы в количестве 6 %;

Опыт 3 – с внесением зародыша пшеницы в количестве 8 %;

Опыт 4 – с внесением зародыша пшеницы в количестве 10 %.

Контроль – на тритикалевой муке без добавки.

Опытные образцы имели пластичную консистенцию, не прилипали к рукам, с уве-

личением дозировки зародыша пшеницы цвет теста становился темнее с вкраплениями.

Полученные физико-химические и органолептические показатели качества выпеченных изделий из образцов с различными дозировками зародыша пшеницы представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Органолептические и физико-химические показатели готовых изделий с добавлением зародыша пшеницы с внесением различных дозировок (4, 6, 8, 10 %)

Table 3 - Organoleptic and physico-chemical parameters of finished products with the addition of wheat germ with the introduction of various dosages (4, 6, 8, 10 %)

Наименование показателя	Контроль	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4
Вкус и запах	сладковатый с хорошо выраженным приятным ароматом	сладковатый с хорошо выраженным приятным ароматом	сладковатый с легким привкусом зародыша пшеницы и хорошо выраженным приятным ароматом	сладковатый, слабовыраженный вкус зародыша пшеницы и с хорошо выраженным приятным ароматом	сладковатый, ярко выраженный вкус и запах зародыша пшеницы
Форма	круглая, без вмятин, вздутий и повреждений края				
Поверхность	гладкая, с четким не расплывшимся оттиском рисунка на верхней поверхности			гладкая, с четким не расплывшимся оттиском рисунка и единичными вкраплениями на поверхности	гладкая, с четким не расплывшимся рисунком и вкраплениями частиц зародыша пшеницы на поверхности
Цвет	светло-серый с еле заметными вкраплениями, равномерный		сероватый с более выраженными вкраплениями	светло-серый, равномерный	серый вкраплениями равномерный
Вид в изломе	равномерная пористость, хорошо пропеченное, без пустот и следов непромеса				неравномерная пористость, с наличием небольших пустот
Физико-химические показатели					
Массовая доля влаги, %	4,8	4,8	4,6	4,5	4,4
Намокаемость, %	200	210	190	190	180
Массовая доля общего сахара (по сахарозе), %	26,0	26,5	28,0	29,8	32,0
Массовая доля жира, %	23,0	24,0	26,6	27,2	28,6

На следующем этапе исследовали влияние различных дозировок тыквы и с 8 % зародышем пшеницы на качество сахарного печенья.

Были приняты следующие образцы: Контроль на тритикалевой муке; Опыт 1 – с добавлением 5 % тыквы и 8 % зародыша пшеницы; Опыт 2 – с добавлением 10 % тыквы и 8 % зародыша пшеницы; Опыт 3 – с добавлением 15 % тыквы и 8 % зародыша пшеницы; Опыт 4 – с добавлением 20 % тыквы и 8 % зародыша пшеницы.

Тесто у опытных образцов имели пластичную консистенцию, не прилипали к рукам, и с увеличением дозировки тыквы цвет теста становился более насыщенным и более липковатым с вкраплениями.

Полученные органолептические и физико-химические показатели качества выпеченных изделий из образцов с разными дозировками тыквы (5, 10, 15, 20 %) и зародышем пшеницы (8 %) представлены в таблицах 4 и 5.

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ОТЕЧЕСТВЕННОЙ МУКИ ИЗ ЗЕРНА ТРИТИКАЛЕ**

Таблица 4 – Органолептические показатели сахарного печенья с добавлением тыквы (5, 10, 15, 20 %) и зародыша пшеницы (8 %)

Table 4 - Organoleptic parameters of sugar cookies with pumpkin addition (5, 10, 15, 20 %) and wheat germ (8 %)

Наименование показателя	Контроль	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4
Вкус и запах	вкус сладковатый, запах приятный с хорошо выраженным ароматом	вкус сладковатый, запах приятный с хорошо выраженным ароматом	сладковатый, легкий, слабо выраженный тыквенный вкус и запах	сладковатый, слабо выраженный тыквенный вкус и аромат	сладковатый, ярко выраженный тыквенный вкус и аромат
Форма	круглая, без вмятин, вздутий и повреждений края				
Поверхность	гладкая, с четким нерасплывшимся оттиском рисунка на верхней поверхности. Не подгорелая, без вздутий. Нижняя поверхность ровная			шероховатая, с нечетким оттиском рисунка на верхней поверхности	
Цвет	равномерный-белый	соломенный с вкраплениями	желтоватый с вкраплениями	желтый с вкраплениями	насыщенно желтый с вкраплениями
Вид в изломе	равномерная пористость, хорошо пропеченное, без пустот и следов непромеса, рассыпчатая	равномерная, более плотная пористость, с наличием небольших пустот, хорошо пропеченное, менее рассыпчатая		неравномерная, мелкая, более плотная пористость с наличием неравномерных крупных пустот, не рассыпчатая	

Таблица 5 – Физико-химические показатели сахарного печенья с добавлением различных дозировок тыквы (5, 10, 15, 20 %) и зародыша пшеницы (8 %)

Table 5 - Physico-chemical parameters of sugar cookies with the addition of various dosages of pumpkin (5, 10, 15, 20 %) and wheat germ (8 %)

Наименование показателя	Контроль	С 5 % тыквой и 8 % зародышем пшеницы	С 10 % тыквой и 8 % зародышем пшеницы	С 15 % тыквой и 8 % зародышем пшеницы	С 20 % тыквой и 8 % зародышем пшеницы
Массовая доля влаги, %	4,8	6,6	7,0	7,2	7,4
Намокаемость, %	210	125	128	125	121
Массовая доля общего сахара (по сахарозе), %	27,1	30,0	31,3	32,0	32,5
Массовая доля жира, %	27,0	27,3	27,3	27,4	27,3

Показатели «массовая доля влаги», «массовая доля общего сахара» и «массовая доля жира» во образцах печенья не превы-

шали нормативных значений, установленных ГОСТ 24901-2014 «Печенье. Общие технические условия».

Согласно результатам исследований, ни один из образцов экспериментального печенья не отвечал требованиям ГОСТ 24901-2014 по намокаемости (норма – не менее 150 %): внесение тыквы сопровождается снижением доли хорошо набухающих клейковинных белков.

Внесение тыквы способствовало снижению намокаемости без ухудшения органолептических характеристик.

Далее описана технология приготовления мучных кондитерских изделий с применением муки из зерна тритикале.

Способ производства сахарного печенья предусматривает сбивание измельченного в

стружку сливочного маргарина с сахаром в течение 7–10 минут до полного растворения кристаллов сахара, внесение яиц и сбивание массы в миксере до увеличения ее объема в 2,5–3,0 раза, внесение в полученную пенную массу гомогенную тыкву, ванилина и разрыхлителя, смеси тритикалевой муки и измельченной зародыша пшеницы, смешивание всех ингредиентов в течение 10–15 минут до получения теста однородной консистенции, разделка теста и выпечка.

Исследовали микробиологические показатели мучных кондитерских изделий в АО «АТУ» в НАО по оценке качества и безопасности продовольственных продуктов (таблица 5).

Таблица 5 – Микробиологические показатели безопасности сахарного печенья

Table 5 - Microbiological safety indicators of sugar cookies

Наименование показателя	Фактические результаты	Допустимые уровни
Количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), КОЕ/г	4 x 10 ²	1 x 10 ⁴
БГКП (колиформы) в 1,0 см ³ продукта	не обнаружено	0,1
Плесени, КОЕ/г	не обнаружено	100
Патогенные, в том числе сальмонеллы в 25 см ³ (г) продукта	не обнаружено	не допускаются
<i>S.aureus</i> , КОЕ/г	не обнаружено	0,1

ОБСУЖДЕНИЕ

На основании проведенных исследований по органолептическими и физико-химическими показателями сахарного печенья с добавлением зародыша пшеницы с внесением различных дозровок (4, 6, 8, 10 %) рекомендуется оптимальная дозировка зародышей пшеницы в количестве до 8 %, имеющая приятный светло-серый цвет, подходящий для сахарного печенья, ровную, неподгорелую поверхность с четким нерасплывшимся оттиском рисунка. По физико-химическим показателям все образцы соответствуют норме.

Исследовали влияние различных дозровок тыквы (5, 10, 15, 20 %) и 8 % с зародышем пшеницы на качество сахарного печенья. При этом отмечено, что тесто опытных образцов имело пластичную консистенцию, не липло к рукам, а с увеличением дозировки тыквы цвет теста становился более насыщенным и более липким с вкраплениями.

Установлено, что все образцы, кроме опытного образца – с добавлением 20 % тыквы и 8 % зародыша пшеницы отличались достаточно высокой оценкой внешнего вида и свойственного вкуса для тритикалевой муки с

тыквой и зародышем пшеницы по сравнению с контролем. Поверхность печенья во всех опытных образцах, кроме опытного образца (с добавлением 20 % тыквы и 8 % зародыша пшеницы), равномерные. Цвет у образца контроля светло-серый, а у образцов с добавлением 10 и 15 % тыквы – желтый с вкраплениями, с 20 % добавкой цвет продукта получился насыщенно желтый с вкраплениями и ярко выраженным вкусом и ароматом тыквы, поверхность шероховатая. Вид в изломе у 1, 2, 3 образцов равномерный, более плотной пористости и допустимый с наличием небольших пустот.

Исследовали физико-химические показатели сахарного печенья с добавлением различных дозровок тыквы (5, 10, 15, 20 %) и зародыша пшеницы (8 %), при этом установлено, что выпеченные изделия имели влажность от 4,8 до 7,4 %. Установлено, что в изделиях намокаемость обусловлена наличием пор в продукте, которые образуются при выпечке за счет действия разрыхлителей с выделением углекислого газа, и зафиксированные поры обуславливают быструю смачиваемость печенья. По намокаемости лидирует контрольный вариант по сравнению с опытными образцами. В определенной степени снижение намокаемости печенья может

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ МУКИ ИЗ ЗЕРНА ТРИТИКАЛЕ

быть связано с наличием в его структуре пищевых волокон тыквы, препятствующих формированию нормальной пористой структуры и поглощению воды белками муки.

Согласно результатам оценки внешнего вида, образцы 1, 2, 3 сахарного печенья имеют привлекательный внешний вид, хорошую структуру, желтоватый цвет поверхности, приятный вкус и характерный аромат.

С точки зрения безопасности пищевых продуктов, микробиологические показатели экспериментальных образцов сахарного печенья соответствовали требованиям ТР ТС 021 «О безопасности пищевой продукции».

ВЫВОДЫ

Таким образом, по результатам проведенных лабораторных выпечек сахарное печенье на основе муки сорта «Бару» с добавлением 15 % тыквы и 8 % зародыша пшеницы отличается значительно высокой оценкой внешнего вида и свойственного вкуса для тритикалевой муки с тыквой и зародышем пшеницы по сравнению с остальными образцами.

Исследование подтвердило целесообразность использования муки из тритикале, тыквы и зародышей пшеницы при производстве сахарного печенья, а также улучшение органолептических и физико-химических показателей качества изделий и повышение их пищевой ценности. Следует отметить, что замена пшеничной муки на тритикалевую в производстве сахарного печенья позволит компенсировать неполноценность белков пшеничной муки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Канарская З.А., Хузин Ф.К., Ивлева А.Р., Гематдинова В.М. Тенденции развития технологии кондитерских изделий // Вестник ВГУИТ. 2016. № 3. С.195–204.
2. Еркинбаева Р.К., Ауэрман Л.Я., Челекбаев М.Д., Шуб И.С. Амилолитическая способность муки из зерна тритикале, пшеничной и их смесей // Хлебопекарная и кондитерская промышленность. 1985. № 7. 21 с.
3. Зоркина Н.Н. Оценка товароведных свойств муки пшеничной кузбасских производителей и практические аспекты ее использования: автореф. ... канд. тех. наук: 05.18.15. Кемерово, 2010. 19 с.
4. Быстров А.В. Формирование показателей качества пшеничной муки для мучных кондитерских изделий: дис. ... канд. тех. наук: 05.18.01. М. : Московский государственный университет пищевых производств, 2005. 163 с. Инв. № 61:05-5/2707.
5. Zhang H., Zhang W., Xu C., Zhou X. Studies on the rheological and gelatinization characteristics of waxy wheat flour // International journal Bio. Macro-

mol. 2014. Vol. 64. P. 123–129.

6. Torbica A., Belović M., Tomić J. Novel breads of non-wheat flours. Food Chemistry – 2019. Vol. 282. P. 134–140.

7. Федотов В.А. Факторы формирования потребительских свойств зерномучных товаров // Вестник Оренбургского государственного университета. Оренбург, 2011. № 4. С. 186–190.

8. Кондратенко Р.Г. Разработка технология ассортимента мучных кондитерских изделий из тритикалевой муки : дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01. М. : Московская государственная технологическая академия, 2000. 203 с. № 61:00-5/2579-6.

9. Жанабаева К.К. Разработка технологии формирования показателей качества тритикалевой муки для мучных кондитерских изделий повышенной пищевой ценности: дис. ... докт. философии (PhD):6D072800.A: Алматинский технологический университет, 2019. 170 с.

10. Федотов В.А. Факторы формирования потребительских свойств зерномучных товаров // Вестник Оренбургского государственного университета. Оренбург, 2011. № 4. С. 186–190.

11. Онгарбаева Н.О., Жанабаева К.К., Нургожина Ж.К. Химический состав тритикалевой муки различной крупности // Матер. междунар. науч. конф. «Инновационное развитие пищевой, легкой промышленности и индустрии гостеприимства». Алматы : АТУ, 2015. С. 77–79.

12. Хорольцев Д.А., Рождественская Е.В. Исследование функционального назначения тритикалевой муки // Матер. Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых «Научное обеспечение агропромышленного комплекса». Краснодар : КубГАУ, 2014. С. 448–450.

13. Мартинчик А.Н., Маев И.В., Петухов А.Б. Питание человека (основы нутрициологии). М. : ГОУ ВУНМЦ МЗ РФ, 2002. 576 с.

14. Лодыгин А.Д. & Давыденко Н.И. (2019). Разработка технологии мучного кондитерского изделия с использованием плодов тыквы. Пищевая индустрия, (2 (40)), 30–32. doi: 10.24411/9999-008A-2019-10009.

15. Лесникова Н.А. Расширение ассортимента хлебобулочных изделий функционального назначения // Интеграция науки, образования и производства – стратегия развития инновационной экономики : пленарные доклады I-й Междунар. науч.-практ. конф. Екатеринбург : УрГЭУ, 2011. С. 171–174.

16. Саидов А.М., Шайхетдинова К.Ф., Балгужинова Ж.Е. Исследование мукомольных и хлебопекарных свойств нового вида пшеничной муки повышенной пищевой ценности. Монография. Костанай : КРУ имени А. Байтурсынова, 2022. 56 с.

17. Жумалиева Г.Е., Чоманов У.Ч., Актокалова Г.С., Касымбек Р.К. Исследование химического состава муки из разных сортов зерна тритикале с целью использования в мучных кондитерских изделиях // Вестник Алматинского технологического университета. 2022. № 2. 36–43.

18. Витол И.С., Мелешкина Е.П., Кандроков Р.Х., Карпиленко Г.П., Вережникова И.А. Особенности биохимического состава тритикалевой муки разных сортов // Хранение и переработка

зерна. 2017. № 2 (210). С. 30–32.

19. Бакин И.А. Исследование потребительских свойств мучных кондитерских изделий с растительными добавками / И.А. Бакин, И.Ю. Резниченко, А.С. Мустафина, Л.А. Алексенко // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2018. № 2 (49). С. 56–64.

20. Магомедов Г.О., Зацепилина Н.П., Шапкирина А.И. [и др.]. Изменение показателей качества сахарного печенья из тритикалевой муки в процессе хранения // Хлебопродукты. 2016. № 10. С. 62–65.

21. Остриков А.Н., Василенко Л.И., Шенцова Е.С., Травина Е.Ю. Изучение качественных показателей экструдированных зерновых палочек // Хранение и переработка сельхозсырья. 2007. № 9. С. 53–55.

Информация об авторах

Г. Е. Жумалиева – кандидат технических наук, заведующая лабораторией «Технология хлебопекарного, кондитерского и макаронного производства».

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

Статья поступила в редакцию 3 марта 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 06 мая 2024.

The article was received by the editorial board on 3 Mar 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 06 May 2024.

Г. С. Актокалова – старший научный сотрудник лаборатории «Технология хлебопекарного, кондитерского и макаронного производства».

Р. К. Касымбек – старший научный сотрудник лаборатории «Технология хлебопекарного, кондитерского и макаронного производства», докторант PhD.

Information about the authors

G.E. Zhumaliyeva - Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory "Technology of Bakery, Confectionery and Pasta Production".

G.S. Aktokalova - senior researcher of the laboratory "Technology of bakery, confectionery and pasta production".

R.K. Kasymbek - senior researcher of the laboratory "Technology of bakery, confectionery and pasta production", doctoral candidate PhD.



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 637.146

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.022



ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СКВАШИВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КИСЛОМОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

Маргарита Сергеевна Урбах ¹, Юлия Геннадьевна Стурова ²

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

¹ urbach.mar@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0009-7155-3116>

² y_sturova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4492-6628>

Аннотация. В современном мире невозможно недооценить важность кисломолочных продуктов в рационе человека. Кисломолочные продукты имеют уникальные свойства, которые способствуют укреплению организма и повышению его защитных функций. В данной статье рассматривается процесс оптимизации сквашивания при производстве кисломолочных продуктов. Главной целью данной работы является оптимизация процесса сквашивания и изучение влияния различных технологических режимов на активность заквасочной микрофлоры и показатели качества кисломолочного продукта. В ходе исследования использовались общепринятые методы органолептического и физико-химического анализа. Исследования, проведенные в области процесса образования кисломолочного геля, позволили установить значимое влияние дозы вносимой закваски и температуры сквашивания на изменение активной кислотности. Нарушение температурного режима во время сквашивания негативно сказывается на активности заквасочной микрофлоры, а излишнее или недостаточное количество микроорганизмов может привести к нежелательным последствиям, таким как изменение вкуса, неправильная консистенция или снижение срока годности продукта. Установлено, что контроль дозы вносимой закваски и соблюдение оптимальных температурных условий являются ключевыми аспектами для получения высокой активности заквасочной микрофлоры и оптимальной скорости кислотообразования в процессе формирования кисломолочного геля. В результате выполненных исследований была разработана математическая модель, описывающая процесс сквашивания в производстве кисломолочного продукта. На основе данной модели была определена оптимальная дозировка закваски, содержащей в себе микроорганизмы *Streptococcus thermophilus*. Полученные результаты могут быть полезны для промышленности, способствуя улучшению процесса производства кисломолочных продуктов и повышению их качества.

Ключевые слова: сквашивание, доза закваски, температура сквашивания, активная кислотность, *Streptococcus thermophilus*, кисломолочные продукты, математическая модель, оптимизация процесса сквашивания.

Для цитирования: Урбах М. С., Стурова Ю. Г. Оптимизация процесса сквашивания при производстве кисломолочных продуктов // Ползуновский вестник. 2024. № 2, С. 175–181. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.022. EDN: <https://elibrary.ru/CZILLA>.

Original article

OPTIMIZATION OF FERMENTATION PROCESS IN PRODUCTION OF FERMENTED MILK PRODUCTS

Margarita S. Urbah ¹, Yuliya G. Sturova ²

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

¹ urbach.mar@yandex.ru, ORCID: 0009-0009-7155-3116

² y_sturova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4492-6628>

© Урбах М. С., Стурова Ю. Г., 2024

Abstract. In the modern world, it is impossible to underestimate the importance of fermented dairy products in the human diet. Fermented milk products have unique properties that help strengthen the body and enhance its protective functions. This article discusses the process of optimizing fermentation in the production of fermented milk products. The main purpose of this work is to optimize the fermentation process and study the influence of various technological modes on the activity of the leavening microflora and the quality indicators of the fermented milk product. The study used generally accepted methods of organoleptic and physico-chemical analysis. Studies conducted in the field of the formation of fermented milk gel allowed us to establish a significant effect of the dose of the introduced starter culture and the fermentation temperature on the change in active acidity. Violation of the temperature regime during fermentation negatively affects the activity of the starter microflora, and an excessive or insufficient number of microorganisms can lead to undesirable consequences, such as a change in taste, improper consistency or a decrease in the shelf life of the product. It has been established that dose control of the introduced starter culture and compliance with optimal temperature conditions are key aspects for obtaining high activity of the fermentation microflora and the optimal rate of acid formation during the formation of a fermented milk gel. As a result of the performed research, a mathematical model was developed describing the fermentation process in the production of fermented milk product. Based on this model, the optimal dosage of the starter culture containing *Streptococcus thermophiles* micro-organisms was determined. The obtained results of this study can be useful for society and industry, contributing to improving the production process of fermented milk products and improving their quality.

Keywords: fermentation, ferment dose, fermentation temperature, active acidity, *Streptococcus thermophiles*, fermented milk products, mathematical model, optimization of the fermentation process.

For citation: Urbach, M. S. & Sturova, Yu. G. (2024). Optimization of fermentation process in production of fermented milk products. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 175-181. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.02.022. EDN: <https://CZILLA>.

ВВЕДЕНИЕ

Традиционно молоко и молочные продукты входят в список повседневного потребления человека. Они являются неотъемлемой частью его жизнедеятельности с самых первых дней жизни и до глубокой старости. В настоящее время трудно переоценить значение молочных продуктов в рационе питания человека. Эти продукты обладают естественными полезными диетическими свойствами, обусловленными составом и свойствами сырья.

Кисломолочные продукты быстро перевариваются в организме и не требуют выделения пищеварительных соков, как молоко. Известно, что молоко переваривается на 32 % в течение первого часа после употребления, в то время как кисломолочные продукты перевариваются на 91 %. Благодаря молочной кислоте, обширному арсеналу живых молочнокислых бактерий и наличию антибиотических веществ кисломолочные продукты обладают как диетическими, так и лечебными свойствами. Эти компоненты активно борются с гнилостной и болезнетворной микрофлорой кишечника, подавляют ее активность и останавливают рост бактерий, благодаря чему осуществляют бактериостатическое и бактерицидное воздействие [1].

С учетом этого можно заключить, что кисломолочные продукты оказывают много-

численные благоприятные эффекты на здоровье как взрослых, так и детей. Эти продукты следует включать в рацион питания детей всех возрастов, поскольку они предлагают широкий выбор для различных вкусовых предпочтений. Идеи И.И. Мечникова, сформулированные более столетия назад об огромном значении кисломолочных продуктов для здоровья и долголетия, стоят на эмпирических исследованиях и научных данных, которые по сей день продолжают [2].

В процессе производства кисломолочных продуктов происходит кислотная коагуляция казеина и образование геля. С этим происходит переход коллоидной системы молока из разжиженного дисперсного состояния в густой гель. При соблюдении правильности проведения этого процесса достигается:

- консистенция свежеприготовленных продуктов;
- восстановление структуры геля после перемешивания сгустков;
- сохранение первоначальной структуры геля в процессе хранения.

Процесс кислотной коагуляции обычно разделяют на четыре стадии. На первой стадии, называемой индукционным периодом, происходит образование молочной кислоты. Когда молочная кислота диссоциирует, образуются ионы водорода (H⁺), которые начинают накапливаться. В процессе снижения pH ионы

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СКВАШИВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КИСЛОМОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

водорода подавляют диссоциацию свободных карбоксильных групп и кислотных групп фосфорной кислоты казеиновых мицелл. Это приводит к уменьшению отрицательного заряда на поверхности казеиновых глобул. В результате таких изменений происходит дестабилизация и распад макромолекул казеина, а также увеличение дисперсности частиц казеина. Этот процесс сопровождается понижением вязкости жидкости до тех пор, пока величина рН не достигнет значения 6,0 [3–4].

Во время накопления ионов H^+ рН постепенно понижается и приближается к изоэлектрической точке, что является характерной особенностью второй стадии. В этот момент происходит дальнейшая нейтрализация отрицательных зарядов мицелл казеина, что приводит к снижению степени их гидратации. Когда рН достигает значения 6,14, размер белковых частиц начинает увеличиваться. Постепенно процесс агрегирования субмицелл казеина становится доминирующим над дезагрегацией, особенно при рН от 5,2 до 5,3 единиц. Затем наступает период массовой агрегации частиц казеина, или по-научному, – флокуляции. В этот момент резко повышается вязкость продукта до состояния геля. Флокуляция происходит при рН от 4,76 до 4,85 единиц и сопровождается образованием сгустков казеина. Этот процесс называется массовой явной коагуляцией и является важным этапом в производстве многих молочных продуктов.

На смену второй стадии процесса приходит следующая – гелеобразование, или метастабильное равновесие. При достижении изоэлектрической точки около рН 4,6 молекулы казеина приобретают наименьшую растворимость, что приводит к потере стабильности и необратимой коагуляции. Образовавшиеся сгустки сжимаются, образуя нити. Происходит формирование пространственной структуры молочного сгустка из сложных белковожировых решеток, составленных из белковых мицелл и жировых шариков. Дисперсионная среда с компонентами молока захватывается в петлях этой структуры. [3–4].

На четвертой стадии происходит процесс старения сгустка, который сопровождается его ослаблением и понижением структурно-механических свойств. В результате этого процесса возникает явление синерезиса, при котором происходит выделение сыворотки.

Индукционный период, то есть время, необходимое для начала процесса свертывания молока при добавлении закваски, значительно сокращается при повышении температуры сквашивания. Кроме того, состав ис-

пользуемой закваски и ее количество имеют большое значение в формировании сгустка и его реологических свойств. Использование определенных штаммов закваски, которые способствуют интенсивному образованию кислоты, также сокращает индукционный период и улучшает реологические характеристики сгустков в целом [3, 4].

Наметившаяся в последнее время тенденция к увеличению срока годности молочных продуктов поставила вопрос о сохранении качества текстуры в процессе хранения. Идет поиск методов, которые будут менее восприимчивы к различным негативным воздействиям и смогут обеспечить стабильную, высококачественную консистенцию продукта при хранении.

В процессе проведения научно-исследовательских работ, цель которых заключается в улучшении консистенции кисломолочных продуктов, были опробованы различные методы, например, подбор заквасок и применение специальных режимов технологической обработки. Данные факторы оказывают значительное влияние на конечную консистенцию кисломолочных продуктов и их качество в целом [5].

Цель работы заключается в оптимизации процесса сквашивания и исследовании влияния различных технологических режимов на активность заквасочной микрофлоры и показатели качества кисломолочного продукта.

Задачи исследования:

1. Изучить влияние дозы вносимой закваски и температуры сквашивания на изменение активной кислотности в процессе образования кисломолочного геля.
2. Составить матрицу эксперимента и реализовать статистическую обработку полного факторного эксперимента для двух факторов на двух уровнях.
3. Провести оптимизацию процесса сквашивания при производстве кисломолочных продуктов.
4. Проанализировать влияние технологических режимов на качество полученных кисломолочных сгустков.

МЕТОДЫ

В лаборатории для получения экспериментальных образцов кисломолочных продуктов использовали молоко с массовой долей жира 2,5 % и с массовой долей белка 2,8 %, кислотностью 18 °Т. Для запуска процесса ферментации выбрали закваску Т-80, включающую в себя микроорганизмы *Streptococcus thermophilus*.

Str. thermophilus является одним из ви-

дов молочнокислых бактерий, которые способны существовать в условиях без доступа кислорода. Они являются факультативными анаэробами. Особенностью термофильного стрептококка является его способность расти при широком диапазоне температур, начиная от 20 °С до 50 °С. Оптимальная для него температура составляет от 37 °С до 42 °С. Бактерии *Thermophilus* превосходят все молочнокислые стрептококки по кислотообразующей способности и достигают уровня термофильных молочнокислых бактерий. В процессе ферментации молока данный вид бактерий сквашивает его за от 3,5 до 6 часов, и предельная кислотность кислотообразования достигает от 110°Т до 115 °Т [6].

Приготовление кисломолочного продукта осуществляли следующим образом: в стерильные стаканы внесли охлажденное пастеризованное молоко и произвели заквашивание молочнокислым стрептококком нескольких образцов с разной долей вносимой закваски. Смесь термостатировали 48 часов при температурах 30 °С, 35 °С, 45 °С:

- Образец № 1 – доза вносимой закваски 2 %, температура сквашивания 30 °С;
- Образец № 2 – доза вносимой закваски 4 %, температура сквашивания 30 °С;
- Образец № 3 – доза вносимой закваски 6 %, температура сквашивания 30 °С;
- Образец № 4 – доза вносимой закваски 2 %, температура сквашивания 35 °С;
- Образец № 5 – доза вносимой закваски 4 %, температура сквашивания 35 °С;
- Образец № 6 – доза вносимой закваски 6 %, температура сквашивания 35 °С;
- Образец № 7 – доза вносимой закваски 2 %, температура сквашивания 40 °С;
- Образец № 8 – доза вносимой закваски 4 %, температура сквашивания 40 °С;
- Образец № 9 – доза вносимой закваски 6 %, температура сквашивания 40 °С.

По истечении 1 ч, 2 ч, 3 ч и 48 ч проводили определение органолептических и физико-химических показателей качества кисломолочного продукта.

Для получения всех необходимых данных об органолептических и физико-химических показателях наших основных объектов исследования мы применили следующие методы:

- для проведения органолептической оценки кисломолочных продуктов использовалась методика, соответствующая ГОСТ Р ИСО 22935-2-2011;
- для определения активной кислотности образцов использовался рН-метр в соответствии с ГОСТ 32892-2014;

- определение титруемой кислотности кисломолочных продуктов проводилось согласно ГОСТ 3624-92.

В ходе наших исследований мы также использовали математическое планирование эксперимента с двухфакторной математической моделью. Это позволило нам определить оптимальные значения дозы закваски и температуры сквашивания.

Параметром оптимизации Y была выбрана активная кислотность кисломолочного продукта. Анализируя предшествующие сведения, были определены ключевые факторы, оказывающие влияние на процесс оптимизации: количество используемой закваски, процентное содержание и температура сквашивания в градусах Цельсия. Указанные значения факторов подлежат изменению и приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения и вариационные интервалы факторов, влияющих на производство кисломолочных продуктов

Table 1 - Values and variation intervals of factors affecting the production of fermented milk product

Факторы	Уровень			Интервал варьирования
	-1	0	1	
Температура сквашивания (X_1), °С	30	35	40	5
Массовая доля закваски (X_2), %	2	4	6	2

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

В ходе начального этапа исследований были измерены физико-химические параметры. Полученные результаты измерений представлены на рисунках 1–2.

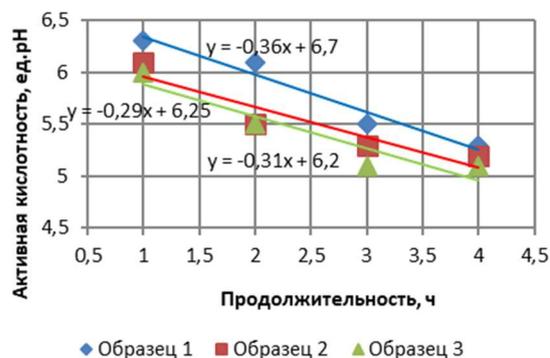


Рисунок 1 – Графики зависимости активной кислотности от продолжительности сквашивания 1, 2, 3 образцов

Figure 1 - Graphs of the dependence of active acidity on the duration of fermentation of 1, 2, 3 samples

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СКВАШИВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КИСЛОМОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

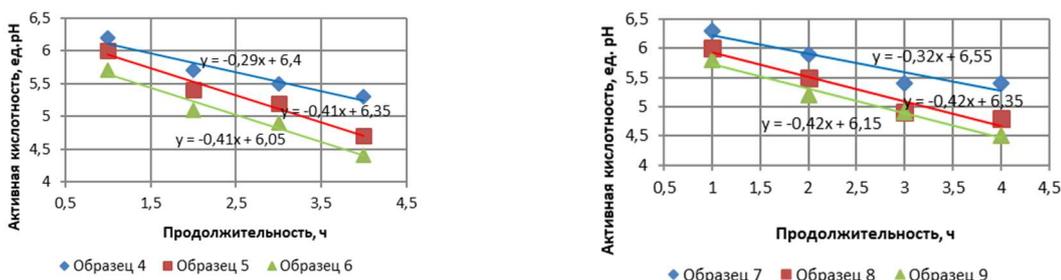


Рисунок 2 – Графики зависимости активной кислотности от продолжительности сквашивания 4, 5, 6, 7, 8, 9 образцов
Figure 2 - Graphs of the dependence of active acidity on the duration of fermentation of 4, 5, 6, 7, 8, 9 samples

Полученные данные иллюстрируют, что активная кислотность образцов № 1, № 4 и № 7 уменьшалась медленнее, чем у остальных образцов. В образце № 2 активная кислотность сначала уменьшалась ак-

тивно, а затем уменьшение стало замедляться.

Результаты органолептической оценки, проведенной после трёх часов сквашивания, кисломолочных продуктов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Органолептические показатели исследуемых образцов
Table 2 - Organoleptic characteristics of the studied samples

Образец, №	Наименование показателей		
	Запах	Структура и консистенция	Цвет
1	Приятный молочный	Жидкая, однородная	Белый, равномерный по всей массе
2			
3			
4	Приятный молочный	Вязкая, ближе к жидкой, однородная	
5	Слабый, кисломолочный, приятный		
6	Чистый, кисломолочный	Вязкая, с видимым отделением сыворотки и образованием хлопьев	
7	Слабый, кисломолочный	Слегка вязкая, однородная	
8	Приятный, кисломолочный	Вязкая, однородная	
9		Вязкая, наблюдается образование хлопьев	

Результаты проведенного эксперимента явно подтверждают тот факт, что с увеличением дозы вносимой закваски и повышением температуры происходит значительное сокращение продолжительности процесса сквашивания. Стоит отметить, что при высокой концентрации закваски и оптимальной температуре развития заквасочной культуры (образцы № 6 и № 9) наблюдается старение сгустка, синерезис и образование хлопьев. При понижении температуры сквашивания активность микроорганизмов, вводимых с закваской, снижается, и в связи с этим нельзя получить продукт с заданными свойствами.

На последующем этапе исследования, с целью проведения статистической обработки эксперимента, была выполнена детальная

работы с данными, а также разработана матрица эксперимента. В ходе анализа использовались два фактора, каждый из которых был рассмотрен на двух уровнях. Такой подход позволил получить более полную и надежную информацию о зависимости между факторами и их влиянии на результаты исследования.

Зависимость между факторами и параметром оптимизации (активная кислотность кисломолочного продукта) линейная, что видно на графиках (рис. 3). Коэффициенты аппроксимации, указанные на графиках, высокие и равны 0,88, подтверждены высокой точностью ошибки аппроксимации. Это доказывает выбранные факторы подходят для построения модели оптимизации [7].

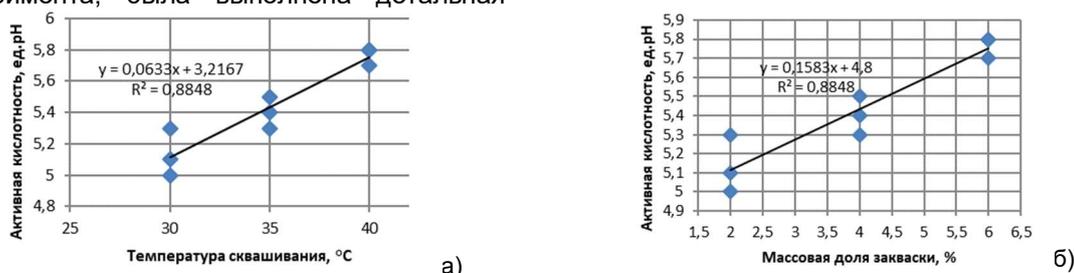


Рисунок 3 – Графики зависимостей фактора от параметров оптимизации с уравнениями регрессии и коэффициентом аппроксимации: а) зависимость $Y(X_1)$; б) зависимость $Y(X_2)$

Figure 3 - Graphs of factor dependencies on optimization parameters with regression equations and approximation coefficient

Таблица 3 – План эксперимента по оптимизации массовой доли закваски и температуры сквашивания в соответствии с матрицей планирования эксперимента и результаты его реализации

Table 3 - The experiment plan for optimizing the mass fraction of the starter culture and the fermentation temperature in accordance with the experiment planning matrix and the results of its implementation

№ опыта	Значения факторов в натуральных величинах		Среднее значение параметра оптимизации (y), ед. рН	Значение факторов в кодированных (нормализованных) величинах		
	Температура сквашивания, °С	Массовая доля закваски, %		X ₁	X ₂	X ₁ ·X ₂
1	30	2	5,80	-1	-1	+1
2	30	6	5,43	-1	+1	-1
3	40	2	5,75	+1	-1	-1
4	40	6	5,10	+1	+1	+1
X ₀	35	4				
ΔX	5	2				

На основании результатов эксперимента процесс влияния факторов на активную кислотность при производстве кисломолочного продукта описывается следующим уравнением:

$$Y=5,52-0,094 \cdot X_1-0,256 \cdot X_2-0,069 \cdot X_1 X_2.$$

Полученную математическую модель можно интерпретировать следующим образом: первое – активная кислотность равна 5,52 ед. рН при массовой доле закваски 4 % и при температуре сквашивания 35 °С; второе – массовая доля закваски (X₁) оказывают большее влияние на активную кислотность кисломолочного продукта, чем температура сквашивания (X₂), знак минус говорит о том, что при увеличении фактора уменьшается величина параметра оптимизации – активная кислотность. Результат взаимодействия между факторами X₁ и X₂ не обладает значимостью [8, 9]. После проверки адекватности уравнения экспериментальным данным с вероятностью 0,95 можно сделать вывод, что уравнение адекватно описывает экспериментальные данные и может служить основой для поиска оптимальных значений факторов исследуемого процесса.

После расчета оптимального значения методом крутого восхождения можем отметить, что параметр оптимизации – активная кислотность, должен стремиться к min, так как чем ниже активная кислотность, тем эффективнее проходит процесс сквашивания. Но в тоже время активная кислотность не должна иметь слишком низкие значения (от 4,7 до 4,8 ед. рН), что может привести к старению сгустка и ухудшению органолептических показателей готового продукта. По результатам расчетов оптимальный параметр оптимизации будет в значении 4,7 ед. рН, при этом массовая доля закваски должна составлять 3,3 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщая полученные результаты, можем отметить, что дозировка закваски и температура

сквашивания значительно влияют на процесс формирования кисломолочного геля. Нарушение температурного режима во время сквашивания снижает активность заквасочной микрофлоры. Таким образом, снижение температуры сквашивания ниже рекомендованных в технологических инструкциях замедляет скорость образования молочной кислоты, что приводит к появлению вялого сгустка, склонного к отделению сыворотки, или полностью препятствует образованию сгустка.

При производстве кисломолочных продуктов на скорость кислотообразования может также влиять доза закваски. Неверная дозировка при добавлении закваски к молочной основе может влиять на скорость кислотообразования. При проведении эксперимента было подтверждено, что увеличение дозировки закваски приводит к повышению интенсивности процесса сквашивания, сокращая время, необходимое для достижения желаемого результата. Стоит отметить, что излишнее увеличение количества закваски оказывает отрицательное влияние на консистенцию, кислотность и органолептические показатели продукта.

Также в ходе проведения исследования была получена математическая модель процесса сквашивания при производстве кисломолочного продукта, на основании которой рассчитана оптимальная дозировка закваски, состоящей из *Str.thermophilus*, равная 3,3 % к массе молока. Не стоит забывать, что условия развития микроорганизмов при производстве кисломолочных продуктов определяются в основном принятыми для каждого конкретного продукта температурными режимами сквашивания, созревания, которые обычно подбираются с учетом особенностей микроорганизмов, входящих в состав закваски.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СКВАШИВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КИСЛОМОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тюрина Л.Е., Александрова М.Г., Табаков Н.А. Нетрадиционные молочные и кисломолочные продукты : учеб. пособие / под ред. Л.Е. Тюрина. Красноярск : Красноярск. гос. аграр. ун-т, 2010. 95 с.
2. Румянцева Л.А., Ветрова О.В., Истомин А.В. К вопросу о качестве и гигиенической безопасности кисломолочных продуктов (обзорная статья) // Здоровье населения и среда обитания. 2021. Т. 29. № 8. С. 39–47. Doi : 10.35627/2219-5238/2021-29-8-39-47.
3. Догарева Н.Г., Клычкова М.В. Физико-химические и биохимические процессы при производстве и хранении молочных продуктов : учеб. пособие / под. Ред. Н.Г. Догарева. Оренбург : Оренбургский гос. ун-т., 2019. 181 с.
4. Пищевая химия. Добавки : учеб. пособие для вузов, 2-е изд. / Л.В. Донченко [и др.]. Москва : Юрайт, 2018. 223 с.
5. Зобкова З.С., Фурсова Т.П. О консистенции кисломолочных продуктов // Молочная промышленность. 2003. № 1. С. 49–51.
6. Мирошникова Е.П. Микробиология молока и молочных продуктов : электрон. учеб. пособие. Оренбург : ГОУ ОГУ, 2005. 135 с.
7. Бочарова-Лескина А.Л., Иванова Е.Е. Математическое моделирование в технологии и оценке качества пищевых продуктов // Научный журнал : КубГАУ. 2017. № 125(01).
8. Звонарев С.В. Основы математического моделирования : учеб. пособие. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019. 112 с.
9. Трусова П.В. Введение в математическое моделирование : учеб. пособие. Москва : Университетская книга, Логос, 2007. 440 с.
10. Булгакова О.М., Иванова С.А. Моделирование динамики активной кислотности молочной среды под влиянием микрофлоры // Техника и технология пищевых производств. 2011. № 3.

11. Авилова И.А., Бывалец О.А. Исследование изменения кислотности, ферментации и сохранности пробиотического кисломолочного продукта с гидролизатами белков молочной сыворотки // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания. 2017. № 3. С. 84–88.

12. Развитие молочнокислых микроорганизмов при ферментации субстрата с повышенной концентрацией углеводов / В.В. Кондратенко [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 3. С. 584–592. Doi : 10.21603/2074-9414-2021-3-584-592.

Информация об авторах

М. С. Урбах – магистр направления подготовки «Продукты питания животного происхождения» кафедры технологии продуктов питания Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

Ю. Г. Стурова – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология продуктов питания» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

Information about the authors

M.S. Urbah - is a student of the specialty "Food of animal origin" of the Department of Food Technology of the Polzunov Altai State Technical University.

Yu.G. Sturova - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Technology of the Polzunov Altai State Technical University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 3 октября 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 06 мая 2024.

The article was received by the editorial board on 3 Oct 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 06 May 2024.



РАЗДЕЛ 2. ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАУКИ О МАТЕРИАЛАХ, МЕТАЛЛУРГИЯ

Научная статья

2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов (технические науки)

УДК66.017

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.023



ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В МЕТАЛЛОГРАФИИ

Владимир Иванович Мосоров ¹, Наталья Баясхалановна Хаптахаева ²,
Константин Сергеевич Коробков ³

^{1,2,3} Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, Улан-Удэ, Россия

¹ vmosorov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0193-5310>

² khapnb@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2745-6481>

³ k_korobkov00@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-5192-2140>

Аннотация. В статье рассматривается возможность использования искусственных нейронных сетей для решения задачи классификации марок сталей по изображению микроструктуры. Для решения задачи распознавания подобрана структура сверточной нейронной сети. Изображения для создания Data seta подготовлены с помощью металлографического микроскопа, среда для написания нейронной сети выполнена на языке Python Google Colaboratory. Сверточная нейронная сеть обучилась на 96,67 %. Высокие результаты обучения при классификации изображений микроструктур углеродистых сталей говорят о перспективности применения нейронных сетей в металлографических исследованиях.

Ключевые слова: нейронные сети, металлография, классификация изображений, микроструктура.

Для цитирования: Мосоров В. И., Хаптахаева Н. Б., Коробков К. С. Применение нейронных сетей в металлографии // Ползуновский вестник. 2024. № 2, С. 182–185. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.023. EDN: <https://elibrary.ru/ENRBTY>.

Original article

APPLICATION OF NEURAL NETWORKS IN METALLOGRAPHY

Vladimir I. Mosorov ¹, Natalya B. Khaptakhaeva ², Konstantin S. Korobkov ³

^{1,2,3} East Siberia State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia

¹ vmosorov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0193-5310>

² khapnb@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2745-6481>

³ hghgh@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5841-0000>

Abstract. The article considers the possibility of using artificial neural networks to solve the problem of classification of steel grades by microstructure image. To solve the recognition problem, the structure of a convolutional neural network is selected. Images for creating Data seta are pre-pared using a metallographic microscope, the environment for writing a neural network is made in Python Google Colaboratory. The convolutional neural network was trained at 96.67%. High results of training in the classification of images of microstructures of carbon steels indicate the prospects of using neural networks in metallographic studies.

Keywords: neural networks, metallography, image classification, microstructure.

For citation: Mosorov, V.I., Khaptakhaeva, N.B., Korobkov, K.S. (2024). Application of neural networks in metallography. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 182-185. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.02.023. EDN: <https://ENRBTY>.

ВВЕДЕНИЕ

Классификация микроструктуры сталей и сплавов является важной задачей металлостроения. В основном структуру металлов и сплавов эксперты определяют «на глаз», что может приводить к различной оценке полученных результатов, поэтому автоматическое определение микроструктуры и ее классификация необходимо для объективности полученных данных. Для решения задач классификации изображений применяют искусственные нейронные сети.

Металлы и сплавы часто имеют зернистую структуру. При классификации мелких частиц используют сверточные нейронные сети. Сверточные нейронные сети – это класс глубоких нейронных сетей, наиболее часто применяемых для анализа визуальных изображений.

Применение нейронных сетей поможет решить следующие задачи:

- в металлографических исследованиях различать и классифицировать структуры металлов и сплавов, а также отличать микроструктуру после различных видов воздействий на материал. Например, была разработана сверточная нейронная сеть для распознавания дендритной микроструктуры [1];

- сегментация в количественном металлографическом анализе проводилась в работе [2] с помощью сети U-Net, а в работе [3] с помощью сети W-Net.

Целью данной работы являлось создать нейронную сеть для классификации марки стали по изображению микроструктуры углеродистых конструкционных сталей.

МЕТОДЫ

Подготовка данных и создание Data set

В качестве исследуемого материала использовали стали 20, 45 и У8. Готовили металлографические шлифы сталей после отжига, так как после этого вида термической обработки наиболее четко видны границы между зернами. Химическое травление проводили в 4 % растворе HNO₃.

Для создания Data set было сделано 300 фотографий, по 100 видов каждой стали. Изображения были получены на металлографическом микроскопе NEOPHOT-21 при увеличении Х400.

Для хранения данных изображений использовали Google Drive, а для написания кода на языке Python Google Colaboratory. Для реализации, обучения и тестирования сети, описанной в этой статье, мы использовали библиотеку Tensor Flow, предварительная разметка изображений микроструктур не проводилась.

Было создано обучающее множество

270 изображений и проверочное 30 изображений микроструктур. Входные данные, которые использовали, состоят из стандартных изображений RGB размером 100x100 пикселей. Так как обучают нейронную сеть парами, в Data set хранится множество пар <X, Y>, где X – изображение микроструктуры сталей. Размер изображений 100x100 тип RGB, а Y – эталонный вид (название класса). На рисунке 1 пример вывода хранящейся информации в Data set.

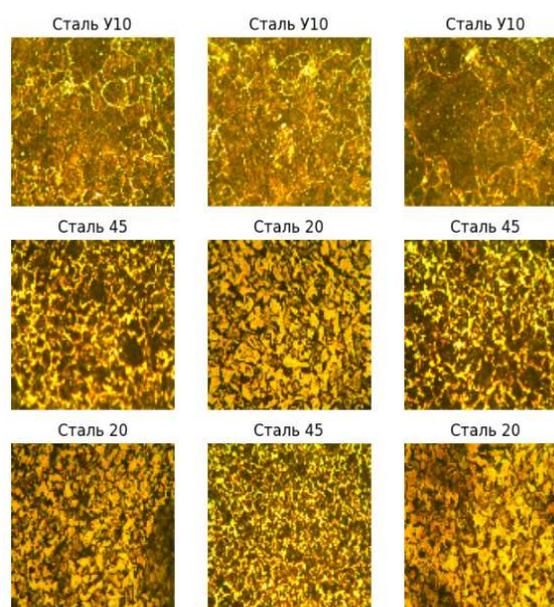


Рисунок 1 – Информация, хранящаяся в Data set

Figure1 - Information stored in Data set

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. ВЫБОР И ОБУЧЕНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

В данной работе мы взяли традиционную последовательную архитектуру нейронной сети типа – Sequential. В ней чередуются сверточные слои Convolutional и слои подвыборки Max pooling, в конце используются полносвязанные слои Fully connected для классификации изображений, выходной слой Dense имеет 3 нейрона (количество классов).

В данной работе определяли наилучшую структуру нейронной сети для классификации изображений микроструктур на нашем наборе данных. Было сделано несколько структур и проанализированы полученные данные по результатам их обучения, которые представлены в таблице 1.

Обучение нейронной сети проводилось в течении 50 эпох.

По данным таблицы 1 можно сделать вывод, что при наличии 4 сверточных слоев показатели обучения нейронной сети значи-

тельно повышаются, точность правильных ответов на проверочном наборе данных составляет 96,67 %, а также уменьшается значение ошибки при обучении до 0,05.

В результате анализа была выбрана схема № 4, архитектуры сверточной нейронной сети представлена на рисунке 2. Описа-

ние размеров и количество нейронов на каждом слое представлено в таблице 2.

Результаты ошибки при обучении нейронной сети на последних 5 эпохах на обучающем и проверочном множестве представлены на графике (рис. 3).

Таблица 1 – Результаты обучения различных структур нейронных сетей

Table 1 - Learning outcomes of various neural network structures

№	Структура нейронной сети			Точность на обучающем наборе	Точность на проверочном наборе	Ошибка на проверочном наборе
1	Convolutional 1	5x5	16	100 %	80 %	1,54
	Fully connected	–	1024			
	Fully connected	–	256			
2	Convolutional 1	5x5	16	100 %	80 %	0,45
	Convolutional 2	5x5	32			
	Fully connected	–	1024			
	Fully connected	–	256			
3	Convolutional 1	5x5	16	100 %	80 %	0,95
	Convolutional 2	5x5	32			
	Convolutional 3	5x5	64			
	Fully connected	–	1024			
	Fully connected	–	256			
	Convolutional 1	5x5	16			
	Convolutional 2	5x5	32			
	Convolutional 3	5x5	64			
	Convolutional 4	5x5	128			
	Fully connected	–	1024			
	Fully connected	–	256			

Таблица 2 – Структура нейронной сети

Table 2 - Neural network structure

Название слоя	Размеры	Количество нейронов
Convolutional 1	100x100	16
Max pooling	50x50	16
Convolutional 2	50x50	32
Max pooling	25x25	32
Convolutional 3	25x25	64
Max pooling	13x13	64
Convolutional 4	13x13	128
Max pooling	7x7	128
Fully connected	–	1024
Fully connected	–	256
Dense	–	3

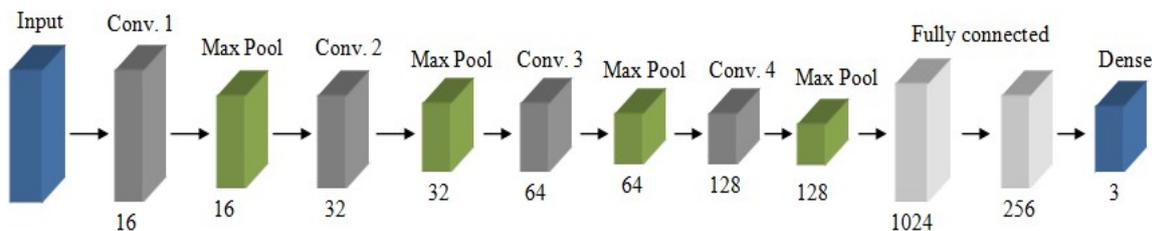


Рисунок 2 – Схема архитектура сверточной нейронной сети

Figure 2 - Scheme architecture of a convolutional neural network

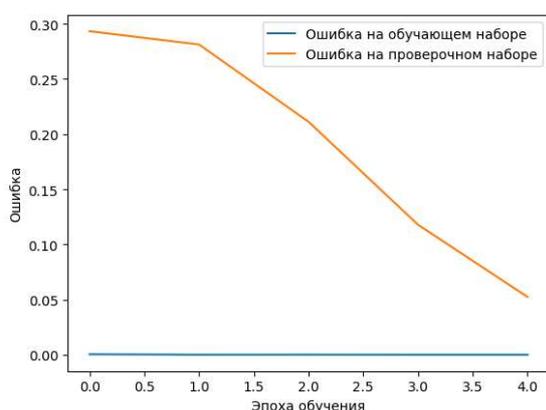


Рисунок 3 – График ошибки

Figure 3 - Error graph

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

– По результатам исследования можно сделать вывод, что при наличии 4-х сверточных слоев у нейронной сети значительно повышается качество распознавания.

– Созданная сверточная нейронная сеть для металлографических исследований обучилась на 96,67 % точных ответов и показатель ошибки – 0,05.

– Точность на тестовом наборе данных составила 100 %.

В дальнейшем целью является расширить набор данных (увеличить количество классов сталей) и увеличить количество изображений одной марки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аристов Г.В., Ключев А.В. Распознавание и классификация микроструктуры металлов и сплавов с использованием глубоких нейронных сетей // Graphi Con 2017 : тр. 27-й Между-нар. конф. по компьютерной графике и машинному зрению.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 15 июня 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 06 мая 2024.

The article was received by the editorial board on 15 June 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 06 May 2024.

Пермь, 24–28 сент. 2017 г. / АНО науч. общ-во Графикон, Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь : Изд-во ЦентрПГНИУ. 2017. С. 180–183.

2. Kovun V.A. On development of models and algorithms for automated metallographic measurement of visible metal slice grain sizes / V.A. Kovun, I.L. Kashirina // Journal of Physics: Conference Series, 2020.

3. Ковун В.А., Каширина И.Л. Использование нейронной сети W-Net в металлографическом анализе образца стали / информатика : проблемы, методы, технологии, Материалы XXI Международной научно-методической конференции. Воронеж, 2021 / Изд-во «Вэлборн» (Воронеж). С. 760–767.

Информация об авторах

В. И. Мосоров – кандидат технических наук, доцент, кафедра «Металловедение и технологии обработки материалов» Восточно-Сибирского университета технологий и управления.

Н. Б. Хаптахаяева – кандидат технических наук, доцент, факультет «Факультет компьютерных наук и технологий» Восточно-Сибирского университета технологий и управления.

К. С. Коробков – магистрант, кафедра «Металловедение и технологии обработки материалов» Восточно-Сибирского университета технологий и управления.

Information about the authors

V.I. Mosorov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of "Metallurgy and Materials Processing Technologies" of the East Siberian University of Technology and Management.

N.B. Khaptakhayeva - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Faculty of "Faculty of Computer Sciences and Technologies" of the East Siberian University of Technology and Management;

K.S. Korobkov - Master's student, Department of "Metal Science and Materials Processing Technologies" of the East Siberian University of Technology and Management.



Научная статья

2.6.11 – Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (технические науки)
УДК 678.09

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.024

EDN: HEQMPW

ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОТВЕРЖДЕНИЯ ЭПОКСИВИНИЛЭФИРНЫХ СВЯЗУЮЩИХ

Будникова Яна Николаевна ¹, Проценко Александр Евгеньевич ²,
Проценко Александра Николаевна ³

^{1, 2, 3} Комсомольский-на-Амуре государственный университет, Комсомольск-на-Амуре, Россия

¹ yanabydnikova@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-6324-0170>

² protsenko.ae@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5238-6388>

³ protsenko.chem@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0235-2021>

Аннотация. Данная работа была направлена на исследование каталитических систем, состоящих из трех компонентов (смола, инициатора и катализатора), которые бы обеспечивали достаточное время для полной пропитки армирующего наполнителя без добавления в систему дополнительных соединений (ингибиторов). В ходе работы были исследованы каталитические системы отверждения полимерного связующего на основе эпоксивинилэфирной смолы марки Derakene Momentum 411-350 и инициатора полимеризации метилэтилкетонпероксида марки Butanox M50. В качестве катализаторов использовались новые комплексы на основе солей кобальта и меди с азотосодержащими гетероциклическими соединениями. После смешения компонентов связующего отслеживалось время желатинизации и время отверждения. На основе результатов дифференциальной сканирующей калориметрии и термогравиметрии была изучена динамика процессов отверждения и деструкции образцов полимерных связующих. Для подтверждения каталитического действия выбранных комплексов были рассчитаны значения энергии активации для некоторых образцов и образца без добавления катализаторов. Отвержденные образцы исследовались на твердость по методу Шора.

Ключевые слова: каталитические системы отверждения, полимерное связующее, эпоксивинилэфирная смола.

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-01137.

Для цитирования: Будникова Я. Н., Проценко А. Е., Проценко А. Н. Исследование новых каталитических систем отверждения эпоксивинилэфирных связующих // Ползуновский вестник. 2024. № 2, С. 186–192. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.024. EDN: <https://elibrary.ru/HEQMPW>.

Original article

RESEARCH OF NEW CATALYTIC SYSTEMS FOR CURING PROCESS OF EPOXY VINYL ESTER BINDERS

Yana N. Budnikova ¹, Alexander E. Protsenko ², Alexandra N. Protsenko ³

^{1, 2, 3} Komsomolsk-na-Amure State University, Komsomolsk-on-Amur, Russia

¹ yanabydnikova@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-6324-0170>

² protsenko.ae@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5238-6388>

³ protsenko.chem@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0235-2021>

Abstract. This work was aimed at the study of catalytic systems consisting of three components (resin, initiator and catalyst), which would provide sufficient time for complete impregnation of the reinforcing filler without adding additional compounds (inhibitors) to the system. In the course of the work, catalytic systems for curing a polymer binder based on epoxy vinyl ester resin of the Derakene Momentum 411-350 and the of methyl ethyl ketone peroxide (Butanox M50) as initiator of polymerization

© Будникова Я. Н., Проценко А. Е., Проценко А. Н., 2024

were investigated. New complexes based on cobalt and copper salts with nitrogen-containing heterocyclic compounds were used as catalysts. Gelation time and curing time were monitored after mixing the binder components. Based on the results of differential scanning calorimetry and thermogravimetry, the dynamics of the curing and destruction processes of polymer binder samples were studied. To confirm the catalytic action of the selected complexes, activation energy values were calculated for some samples and a sample without the addition of catalysts. The cured samples were examined for hardness by the Shore method.

Keywords: catalytic curing systems, polymer binder, epoxy vinyl ether resin.

Acknowledgements: The study was financially supported by the Russian Science Foundation within the framework of the scientific project No. 23-79-01137.

For citation: Budnikova, Y.N., Protsenko, A.E. & Protsenko, A.N. (2024). Research of new catalytic systems for curing process of epoxy vinyl ester binders. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 186-192. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.02.024. EDN: <https://HEQMPW>.

ВВЕДЕНИЕ

Полимерные композиционные материалы благодаря своим уникальным свойствам широко применяются во многих сферах производства. Примером использования ПКМ является производство крупногабаритных изделий, таких как корпуса и надстройки кораблей [1–5]. Основной проблематикой производства данных изделий является то, что продолжительности жизни связующего может быть недостаточной для полной пропитки сухого армирующего наполнителя [6]. Отверждение связующего до завершения пропитки приводит к образованию дефектов в структуре композиционного материала. Внутренние напряжения, вызванные неоднородностью структуры, снижают устойчивость изделий к механическим воздействиям [7]. Разработка эффективных методов отверждения полимерных связующих становится важным аспектом для улучшения прочностных характеристик изделий из ПКМ. Основные подходы к решению данной проблемы включают в себя модификацию химического состава связующего, которая осуществляется или посредством варьирования соотношения компонентов, или путем введения в систему дополнительных соединений [8].

Радикальный механизм является одним из способов протекания реакции отверждения полимерных связующих за счет распада инициатора на свободные радикалы. С целью продления жизни связующего в такие системы вводят ингибиторы, которые замедляют процесс отверждения [9]. В качестве ингибиторов используют хиноны, которые блокируют свободные радикалы, образованные вследствие распада пероксидного инициатора, и вторичные радикалы, полученные передачей реакционного центра на мономер [9]. Также замедлить процесс отверждения возможно введением соединений, способных образовывать прочные комплексы или хелаты с ионами металлов, снижая их реакционную способность в

образовании свободных радикалов из перекиси [10, 11].

К недостаткам использования ингибиторов следует отнести, что они вводятся в систему в очень небольшом количестве [9]. Ошибка при внесении может привести к значительному увеличению процесса отверждения либо к застыванию связующего до завершения пропитки.

Данная работа направлена на исследование новых каталитических систем отверждения эпоксивинилэфирных связующих с целью упрощения их рецептуры и обеспечению достаточного времени для полной пропитки армирующего наполнителя без добавления в систему дополнительных соединений ингибиторов.

МЕТОДЫ

Работа проводилась с трехкомпонентным связующим на основе смолы, инициатора и катализатора. Компоненты связующего брались в следующем соотношении, мас. ч.: смола – 100, инициатор – 2, катализатор – 0,2.

В работе использовались: эпоксивинилэфирная смола марки Derakane Momentum 411-350, метилэтилкетонпероксид (МЭКП) марки Butanox M50. В качестве образца сравнения использовался образец с добавлением однопроцентного раствора октоата кобальта $\text{Co}(\text{Oct})_2$ марки NL-49P (Akzo Nobel). В качестве исследуемых катализаторов были выбраны комплексы на основе солей кобальта и меди с азотосодержащими гетероциклическими соединениями (таблица 1).

Термический анализ связующих и полимерных образцов осуществлялось методами дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и термогравиметрии (ТГ) на приборе синхронногетермического анализа Netzsch STA 409 PC Luxx. Исследования проводились в воздушной атмосфере в динамическом режиме нагрева со скоростью 10 °С/мин до температуры 900 °С. Скорость потока газа

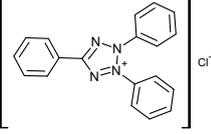
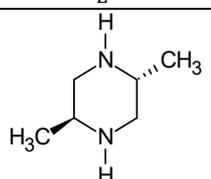
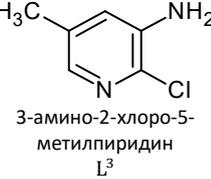
в весовую камеру составляла 30 мл/мин, а в испытательную – 50 мл/мин.

Энергия активации реакции отверждения связующего определялась в соответствии с методикой Киссенджера [12]. Для этого исследовался первый пик в интервале температур 67–127 °С, соответствующий процессу отверждения. Для каждого исследуемого образца проводилось несколько ДСК-измерений с различными скоростями нагрева: 5, 10 и 20 °С/мин. На основе результатов ДСК анализа производились расчеты, необходимые для построения графика зависимости $\ln(\beta/T_m^2)$ от $1000/T_m$. По графику определялся тангенс угла наклона прямой, с помощью которого рассчитывалась энергия активации.

Измерение твёрдости проводилось по методу Шора (ГОСТ 24621-2015) с помощью цифрового измерителя Shore D Durometer.

Таблица 1 – Катализаторы отверждения

Table 1 - Curing catalysts

№	Ссылка	Катализатор	АнионL
1	[13]	$(L^1)_2[CoCl_4]$	 2,3,5-трифенилтетразолий хлористый L^1
2	[13]	$(L^1)_2[CuCl_4]$	
3	[13]	$(H_2L^2)[CoCl_4]$	 транс-2,5-диметилпиперазин L^2
4	[13]	$(H_2L^2)[CuCl_4]$	
5	[13]	$(H_2L^2)[CuBr_4]$	
6	[14]	$(HL^3)_2[CuCl_4] \cdot H_2O$	 3-амино-2-хлоро-5-метилпиридин L^3
7	[15]	$(HL^4)_2[CoCl_4]$	 2-Амино-5-бром-3-метилпиридин L^4
8	[15]	$(HL^4)_2[Cu_2Cl_8]$	
9	[15]	$(HL^4)_2[CuBr_4]$	
10	[16]	$(HL^5)_2[CoCl_4] \cdot 2H_2O$	 2-Амино-3-бром-5-метилпиридин L^5
11	[16]	$(HL^5)_2[CuCl_4] \cdot 2H_2O$	
12	[16]	$(HL^5)_2[CuBr_4] \cdot 2H_2O$	

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Соединения, представленные в таблице 1, являются твердыми веществами плохо растворимыми в связующем. С целью создания каталитической системы был произведен подбор растворителей, обеспечивающих устойчивые растворы соединений и совместимые со связующим. Возможность создания каталитических систем отверждения на основе соединений исследуемого ряда также подтверждается результатами работы [17]. На данном этапе исследований лучше всего себя зарекомендовали: тетрагидрофуран (ТГФ) и диметилсульфоксид (ДМСО), с которыми были получены растворы с концентрацией 5 и 8 %.

Таблица 2 – Растворы катализаторов

Table 2 - Solutions of catalysts

Катализатор	Растворитель	Процент катализатора в растворителе, %
$(L^1)_2[CoCl_4]$	$(CH_3)_2OS$	5
$(L^1)_2[CuCl_4]$		
$(H_2L^2)[CoCl_4]$	$(CH_3)_2OS$	8
$(H_2L^2)[CuCl_4]$		
$(H_2L^2)[CuBr_4]$	$(CH_3)_2OS + C_4H_8O$	8
$(HL^3)_2[CuCl_4] \cdot H_2O$	$(CH_3)_2OS$	5
$(HL^4)_2[CoCl_4]$		
$(HL^4)_2[Cu_2Cl_8]$		
$(HL^4)_2[CuBr_4]$		
$(HL^5)_2[CoCl_4] \cdot 2H_2O$		
$(HL^5)_2[CuCl_4] \cdot 2H_2O$		
$(HL^5)_2[CuBr_4] \cdot 2H_2O$		

После смешения компонентов связующего отслеживалось время желатинизации и время отверждения.

Время желатинизации и время отверждения образца сравнения представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Время желатинизации и отверждения образца сравнения

Table 3 - Gelation and curing time of the comparison sample

Катализатор	Время желатинизации образца, ч:мин	Время отверждения образца, ч:мин
$Co(Okt)_2$	0:47	0:55

Связующее на основе смолы и отвердителя (соотношение мас. ч.: 100/2 соответственно) без использования катализатора не отверждается при нормальных условиях. Однако было обнаружено, что образцы без катализатора, но с добавлением растворителей

ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОТВЕРЖДЕНИЯ ЭПОКСИВИНИЛЭФИРНЫХ СВЯЗУЮЩИХ

диметилсульфоксида и / или тетрагидрофурана способны отверждаться в течение 2 дней, что может свидетельствовать о каталитическом действии ДМСО и ТГФ.

В таблице 4 представлены результаты отверждения исследуемых образцов связующих с исследуемыми комплексами.

Из полученных данных видно, что исследуемые комплексы влияют на продолжительность процесса отверждения связующего. Образец 2 имеет наиболее длительное время желатинизации, которое составило 4 часа 34 минуты. Полное отверждение зафиксировано спустя 8 часов 35 минут, в то время как образец 3 по времени желатинизации и отверждения эквивалентно составу, отверждаемому в присутствии $\text{Co}(\text{Oct})_2$.

Таблица 4 – Время желатинизации и отверждения исследуемых образцов

Table 4 - Gelation and curing time of the studied samples

Образец	Время желатинизации образца, ч:мин	Время отверждения образца, ч:мин
1	1:53	2:11
2	4:34	8:35
3	0:51	1:01
4	4:17	4:44
5	2:12	2:43
6	3:13	5:06
7	1:58	2:11
8	3:00	4:28
9	3:17	5:32
10	1:42	1:54
11	4:26	6:05
12	4:30	7:50

На основании полученных данных можно сделать заключение, что все исследуемые соединения являются катализаторами. При этом реактивность большинства данных соединений ниже, чем у $\text{Co}(\text{Oct})_2$.

В ходе наблюдения за отверждением образцов также фиксировались особенности протекания процессов. Было обнаружено, что все образцы на основе солей кобальта сильно нагреваются при отверждении, что свидетельствует о протекании экзотермических процессов. Для таких образцов характерен быстрый рост вязкости. После нагрева вследствие экзотермического эффекта образцы полностью отверждаются.

Термический анализ позволил определить температурные диапазоны, термостабильность образцов и энтальпию пика отверждения. Основные термические характеристики исследуемых образцов представлены в таблице 5.

Наибольшую температуру деструкции имеет образец без добавления катализатора, наименьшую – образец 1. Разница между этими значениями составляет приблизительно 18 К. Это может говорить о том, что добавление катализатора в систему лишь незначительно снижает температуру деструкции образца.

Для исследуемых образцов была зафиксирована потеря массы на стадии отверждения (таблица 6), которая возникает вследствие процесса удаления легколетучих веществ, содержащихся в образце связующего. Основная потеря массы, которая происходит на данной стадии, является результатом процесса удаления стирола и растворителей.

Таблица 5 – Данные термического анализа

Table 5 - Thermal analysis data

Образец	Температура пика, К		Энтальпия пика отверждения Дж/г
	отверждения	деструкции	
сравнения	364,8	660,35	129,1
без катализатора	394,5	675,6	153
1	375,1	657,75	141
2	385,7	659,95	151,1
3	367,6	664,45	148,3
4	384,2	668,6	159,3
5	385,4	673,3	162,1
6	386,6	666,25	170
7	372,6	663,75	148,8
8	387	658,1	165,6
9	388,4	665,35	167,9
10	374,4	668,5	157
11	385,3	666,1	166
12	389,7	664,15	167,4

Таблица 6 – Потеря массы образцов на стадии отверждения

Table 6 - Mass loss of samples at the curing stage

Образец	Потеря веса, %
Сравнения	2,26
Без катализатора	3,72
1	3,09
2	5,38
3	1,62
4	2,71
5	3,71
6	5,02
7	3,78
8	3,47
9	4,18
10	3,42
11	3,54
12	3,75

С целью подтверждения каталитического действия выбранных комплексов были рассчитаны значения энергии активации для образцов

с добавлением катализаторов $(L^1)_2[CoCl_4]$, $(L^1)_2[CuCl_4]$, $(H_2L^2)[CoCl_4]$, $(H_2L^2)[CuCl_4]$, $(H_2L^2)[CuBr_4]$. Полученные результаты для исследуемых образцов сравнивались с расчётными значениями энергии активации образца без добавления катализатора и образца сравнения.

Образец 2 имеет наибольшее значение энергии активации из всех исследуемых образцов, что свидетельствует о наличии высокого энергетического барьера, препятствующего процессу отверждения. Образцы с высокими значениями активации менее активны, следовательно, имеют более продолжительное время жизни. Это подтверждают результаты измерения времени желатинизации и времени отверждения образцов (таблица 4).

Таблица 7 – Сводная таблица полученных данных по энергии активации

Table 7 - Summary table of the received data on activation energy

Образец	Энергия активации E_a , кДж/моль
Без катализатора	85,80
Сравнения	36,32
1	36,24
2	44,24
3	38,82
4	41,35
5	38,40

Основываясь на полученных результатах, можно предположить, что связующее на основе смолы и инициатора (соотношение мас. ч.: 100/2 соответственно) без использования катализатора не отверждается при нормальных условиях, поскольку данная система имеет высокое значение энергии активации.

Твёрдость измерялась у всех полученных образцов, в том числе и у пластиков, отвержденных без катализатора, но с добавлением растворителей ДМСО и / или ТГФ. Измерения выполнялись до и после выдержки образцов в печи при температуре 120 °С в течение 2 часов.

Результаты измерений твердости различных образцов приведены в таблицах 8–10.

Измерить твердость образцов без катализаторов до выдержки в печи не представлялось возможным, так как они имели остаточный липкий слой вследствие неполного отверждения.

Из полученных данных видно, что для всех исследуемых образцов характерен прирост твердости после термообработки. Для образцов на основе солей кобальта значения твердости до и после выдержки отличаются незначительно. Можно предположить, что данные образцы достигают более высоких стадий сшивки молекулярной структуры, так как самопроизвольно нагреваются в процессе отверждения. Поэтому термообработка таких

190

образцов в меньшей степени влияет на изменение значений твердости.

Образцы с ДМСО, ТГФ и их комбинацией имеют значения твердости после выдержки относительно близкие друг к другу: ДМСО – 76,5, ТГФ – 77,4, ДМСО + ТГФ – 77,1. При этом данные значения существенно ниже твердости образца сравнения. Образцы 5 и 10 после выдержки демонстрируют наибольшие значения среди всех представленных образцов – 84,9 и 83,3 соответственно. Образцы 2 и 12 имеют наименьшие значения твердости после выдержки – 74,8 и 70,8 соответственно. С целью дальнейшего применения для производства изделий методом вакуумной инфузии наибольший интерес представляют образцы 5 и 10.

Таблица 8 – Твёрдость образца сравнения
Table 8 - Hardness of the comparison sample

Катализатор	Показатель твёрдости	
	До выдержки	После выдержки
Co(Oct) ₂	81,7	81,8

Таблица 9 – Твёрдость исследуемых образцов
Table 9 - Hardness of the test samples

Образец	Показатель твёрдости	
	До выдержки	После выдержки
1	83,7	83,8
2	67,7	74,8
3	79,4	81,1
4	79,9	82,8
5	81,9	84,9
6	72,2	77,3
7	75,4	76,3
8	76,1	76,7
9	76,1	81
10	83,2	83,3
11	74,3	82,3
12	62,1	70,8

Таблица 10 – Твёрдость образцов без катализаторов

Table 10 - Hardness of the samples without catalysts

Растворитель	Показатель твёрдости	
	До выдержки	После выдержки
ДМСО	-	76,5
ТГФ	-	77,4
ДМСО + ТГФ (1:1)	-	77,1

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, были исследованы новые каталитические системы отверждения эпоксивинилэфирного связующего на примере Derakene Momentum 411-350. В ходе работы были изготовлены каталитические системы, состоящие из трех компонентов: эпоксивинилэфирной смолы, пероксидного

ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОТВЕРЖДЕНИЯ ЭПОКСИВИНИЛЭФИРНЫХ СВЯЗУЮЩИХ

инициатора и катализатора. В качестве катализаторов использовались новые комплексы на основе солей кобальта и меди с азотосодержащими гетероциклическими соединениями. Система отверждения 3 обладает параметрами отверждения идентичными образцу, полученному в присутствии $\text{Co}(\text{Okt})_2$. Остальные образцы катализаторов также способствовали отверждению при нормальных условиях, но за больший промежуток времени. У полученных систем исследованы твердости. Образцы, содержащие в качестве катализаторов растворы комплексов 5 и 10, представляют наибольший интерес. Время желатинизации находится в районе двух часов, что позволит обеспечить пропитку изделий крупных размеров и сложной конфигурации. Также образцы полученных связующих обладают твердостью эквивалентной стандартному образцу. Также установлено, что максимальная твердость образца 10 достигается без проведения операции постотверждения. Данный факт, по-видимому, может быть связан с большим экзотермическим эффектом реакции отверждения.

Для ряда систем отверждения были установлены значения энергии активации. Результаты подтвердили гипотезу о том, что исследуемые комплексные соединения являются катализаторами отверждения эпоксивинилэфирных связующих. Энергия активации таких систем ниже, чем у образца без катализатора. Однако эти значения выше, чем для системы, отверждаемой в присутствии раствора $\text{Co}(\text{Okt})_2$, что также подтверждает меньшую реакционную способность исследуемых соединений.

Таким образом, растворы катализаторов отверждения эпоксивинилэфирных связующих на основе солей кобальта и меди с азотосодержащими гетероциклическими соединениями могут иметь потенциальное применение в композитной с целью получения сложных крупногабаритных конструкций методом вакуумной инфузии, требующей длительной пропитки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Birman V., Kardomateas G.A. Review of Current Trends in Research and Applications of Sandwich Structures. *Compos B Eng* 2018, 142, 221–240, doi : 10.1016/j.compositesb.2018.01.027.
2. Булкин В.А., Федонюк Н.Н., Шляхтенко А.В. Применение перспективных композиционных материалов в надводном судостроении. *Морской вестник* 2013, 1, 7–8.
3. Блинов А.В., Булкин В.А., Ефимова О.Г., Федонюк Н.Н. Применение в судостроении трехслойных конструкций с гофрированным средним слоем. *Морской вестник* 2012, 2, 79–82.
4. Rubino F., Nisticò A., Tucci F., Carlone P. Marine Application of Fiber Reinforced Composites: A Review. *Journal of Marine Science and Engineering* 2020, Vol. 8, Page 26 2020, 8, 26, doi : 10.3390/JMSE8010026.
5. Kappenthuler S., Seeger S. Assessing the Long-Term Potential of Fiber Reinforced Polymer Composites for Sustainable Marine Construction. *J Ocean Eng Mar Energy* 2021, 7, 129–144, doi : 10.1007/S40722-021-00187-X/TABLES/9.
6. Хуанг Ч.-П. Моделирование процессов вакуумной инфузии в производстве крупногабаритных композитных конструкций. *Известия Южного федерального университета. Технические науки* 2021, 172–185, doi :10.18522/2311-3103-2021-3-172-185.
7. Колпачков Е.Д., Петрова А.П., Курносов А.О., Соколов И.И. Методы формования изделий авиационного назначения из ПКМ (Обзор). *Труды ВИАМ* 2019, 83, 22–36, doi : 10.18577/2307-6046-2019-0-11-22-36.
8. Ткачук А.И., Терехов И.В., Гуревич Я.М., Григорьева К.Н. Исследования влияния природы модифицирующих добавок на реологические и термомеханические характеристики фотополимерной композиции на основе эпоксивинилэфирной смолы. *Авиационные материалы и технологии* 2019, 56, 31–40, doi :10.18577/2071-9140-2019-0-3-31-40.
9. Li L., Lee L.J. Effects of Inhibitors and Retarders on Low Temperature Free Radical Crosslinking Polymerization Between Styrene and Vinyl Ester Resin; 2001; Vol. 41.
10. Protsenko A.E., Telesh V.V., Potkalov A.K. The Use of Inhibited Layers to Improve Mechanical Properties of Thermoset Composite Materials. *IOP ConfSer Mater Sci Eng* 2020, 734, 012023, doi : 10.1088/1757-899X/734/1/012023.
11. Li L., Lee L.J. Effects of a Chelating Agent - 2,4-Pentanedione on Low Temperature Composite Molding of Vinyl Ester and Unsaturated Polyester Resins. *Polym Compos* 2002, 23, 971–990, doi : 10.1002/PC.10494.
12. Slopicka K., Bartocci P., Fantozzi F. Thermogravimetric Analysis and Kinetic Study of Poplar Wood Pyrolysis. *Appl Energy* 2012, 97, 491–497, doi : 10.1016/J.APENERGY.2011.12.056.
13. Protsenko A.N., Garfova V.V., Shakirova O.G. Structure and Properties of Copper(II) and Cobalt(II) Halide Complexes with n-Heterocycles of Composition $(\text{H})_n[\text{MHal}_4]$. *Lecture Notes in Networks and Systems* 2021, 200, 265–275, doi:10.1007/978-3-030-69421-0_28.
14. Shakirova O., Protsenko A., Protsenko A., Kuratieva N., Fowles S., Turnbull M.M. Syntheses, Structures and Properties of Copper(II) and Cobalt(II) Complexes with 5(3)-Amino-2-Chloro-3(5)-Methylpyridine Isomer Cations. *Inorganica Chim Acta* 2020, 500, 119246, doi : 10.1016/J.ICA.2019.119246.
15. Проценко А.Н., Шуляк Д.А., Проценко А.Е., Шакирова О.Г. Исследование новых галогенидных комплексов меди(II) и кобальта(II) с 2-амино-5-бром-3-метилпиридином: синтез, структура, свойства. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*, 2023. 155, 62–70, doi :10.26730/1999-4125-2023-1-62-70.
16. Проценко А.Н., Шуляк Д.А., Проценко А.Е., Шакирова О.Г. Синтез, структура и спектральные характеристики галогенидных комплексов меди(II) и кобальта(II) с 2-амино-3-бром-5-метилпиридином. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*, 2023, 155, 71–78, doi :10.26730/1999-4125-2023-1-71-78.
17. Protsenko A.E., Protsenko A.N., Shakiro-

va O.G., Zhelevskaya D.D. Coordination Compound (2,3,5-Triphenyltetrazolium)₂[CuBr₄] as Catalyst for the Curing Process of Epoxy Vinyl Ester Binders. *Int J MolSci* 2023, 24, doi : 10.3390/ijms241411808.

Информация об авторах

Я. Н. Будникова – студент-магистр Комсомольского-на-Амуре государственного университета.

А. Е. Проценко – кандидат технических наук, доцент кафедры «ХиХТ» Комсомольского-на-Амуре государственного университета.

А. Н. Проценко – кандидат химических наук, доцент кафедры «ХиХТ» Комсомольского-на-Амуре государственного университета.

REFERENCES

1. Birman, V.; Kardomateas, G.A. Review of Current Trends in Research and Applications of Sandwich Structures. *Compos B Eng* 2018, 142, 221-240, doi:10.1016/j.compositesb.2018.01.027.
2. Bulkin, V.A.; Fedonyuk, N.N.; Shlyakhtenko, A.V. Application of Advanced Composite Materials in Surface Shipbuilding. *Marine Bulletin* 2013, 1, 7-8.
3. Blinov, A.V.; Bulkin, V.A.; Efimova, O.G.; Fedonyuk, N.N. Application of Three-Layer Structures with A Corrugated Middle Layer in Shipbuilding. *Marine Bulletin* 2012, 2, 79-82.
4. Rubino, F.; Nisticò, A.; Tucci, F.; Carlone, P. Marine Application of Fiber Reinforced Composites: A Review. *Journal of Marine Science and Engineering* 2020, Vol. 8, Page 26 2020, 8, 26, doi : 10.3390/JMSE8010026.
5. Kappenthuler, S.; Seeger, S. Assessing the Long-Term Potential of Fiber Reinforced Polymer Composites for Sustainable Marine Construction. *J Ocean Eng Mar Energy* 2021, 7, 129-144, doi:10.1007/S40722-021-00187-X/TABLES/9.
6. Jyun-Ping Huang Modeling of the vacuum infusion processes in the manufacturing of the large polymeric composite. *Southern Federal University. Technical sciences* 2021, 172-185, doi : 10.18522/2311-3103-2021-3-172-185.
7. Kolpachkov, E.D.; Petrova, A.P.; Kurnosov, A.O.; Sokolov, I.I. Methods of Molding Aviation Products from Pcm (Review). *Works of VIAM* 2019, 83, 22-36, doi : 10.18577/2307-6046-2019-0-11-22-36.
8. Tkachuk, A.I.; Terekhov, I.V.; Gurevich, Ya.M.; Grigoreva, K.N. Research of the Influence of the Modifying Additives Nature on the Rheological and Thermomechanical Properties of a Photopolymer Composition Based on Epoxy Vinyl Ester Resin. *Aviation materials and technologies* 2019, 56, 31-40, doi : 10.18577/2071-9140-2019-0-3-31-40.
9. Li, L.; Lee, L.J. Effects of Inhibitors and Retarders on Low Temperature Free Radical

Crosslinking Polymerization Between Styrene and Vinyl Ester Resin; 2001; Vol. 41.

10. Protsenko, A.E.; Telesh, V.V.; Potkalov, A.K. The Use of Inhibited Layers to Improve Mechanical Properties of Thermoset Composite Materials. *IOP ConfSer Mater Sci Eng* 2020, 734, 012023, doi : 10.1088/1757-899X/734/1/012023.
11. Li, L.; Lee, L.J. Effects of a Chelating Agent - 2,4-Pentanedione on Low Temperature Composite Molding of Vinyl Ester and Unsaturated Polyester Resins. *Polym Compos* 2002, 23, 971-990, doi : 10.1002/PC.10494.
12. Slopiecka, K.; Bartocci, P.; Fantozzi, F. Thermogravimetric Analysis and Kinetic Study of Poplar Wood Pyrolysis. *Appl Energy* 2012, 97, 491-497, doi : 10.1016/J.APENERGY.2011.12.056.
13. Protsenko, A.N.; Garifova, V.V.; Shakirova, O.G. Structure and Properties of Copper(II) and Cobalt(II) Halide Complexes with n-Heterocycles of Composition (H)_n[MHal₄]. *Lecture Notes in Networks and Systems* 2021, 200, 265-275, doi : 10.1007/978-3-030-69421-0_28.
14. Shakirova, O.; Protsenko, A.; Protsenko, A.; Kuratieva, N.; Fowles, S.; Turnbull, M.M. Syntheses, Structures and Properties of Copper(II) and Cobalt(II) Complexes with 5(3)-Amino-2-Chloro-3(5)-Methylpyridine Isomer Cations. *Inorganica Chim Acta* 2020, 500, 119246, doi : 10.1016/J.ICA.2019.119246.
15. Protsenko, A.N.; Shulyak, D.A.; Protsenko, A.E.; Shakirova, O.G. Study of New Halide's Copper(II) And Cobalt(II) Complex With 2-Amino-5-Bromo-3-Methyl Pyridine: Synthesis, Structure, Properties. *Bulletin of Kuzbass State Technical University* 2023, 155, 62-70, doi : 10.26730/1999-4125-2023-1-62-70.
16. Protsenko, A.N.; Shulyak, D.A.; Protsenko, A.E.; Shakirova, O.G. Synthesis, Structure, and Spectral Characteristics of Copper(II) and Cobalt(II) Halide Complexes with 2-Amino-3-Bromo-5-Methyl Pyridine. *Bulletin of Kuzbass State Technical University* 2023, 155, 71-78, doi : 10.26730/1999-4125-2023-1-71-78.
17. Protsenko, A.E.; Protsenko, A.N.; Shakirova, O.G.; Zhelevskaya, D.D. Coordination Compound (2,3,5-Triphenyltetrazolium)₂[CuBr₄] as Catalyst for the Curing Process of Epoxy Vinyl Ester Binders. *Int J Mol Sci* 2023, 24, doi : 10.3390/ijms241411808.

Information about the authors

A.E. Protsenko - Candidate of Technical Sciences. Associate Professor of the Department of "Chemistry and Chemical Technology" Komsomolsk-na-Amur State University.

A.N. Protsenko - Candidate of Chemical Sciences Associate Professor of the Department of "Chemistry and Chemical Technology" Komsomolsk-na-Amur State University.

Y.N. Budnikova - master student of Komsomolsk-na-Amur State University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 30 октября 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 06 мая 2024.

The article was received by the editorial board on 30 Oct 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 06 May 2024.



Научная статья

2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)

УДК 66.047.76:66.084.8

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.025



ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА СУШКИ ВАТЫ ПРИ ПОМОЩИ УЛЬТРАЗВУКА

Владимир Николаевич Хмелёв¹, Андрей Викторович Шалунов²,
Мария Константиновна Кошелева³, Иван Александрович Маняхин⁴,
Сергей Александрович Терентьев⁵, Виктор Александрович Нестеров⁶,
Николай Александрович Азаров⁷

^{1, 2, 4, 5, 6, 7} Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», Бийск, Россия

³ Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва

¹ vnh@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7089-3578>

² shalunov@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5299-9931>

³ ohtpaxt@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3774-1510>

⁴ manyaxin.ivan@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0000-6168-0167>

⁵ sergey@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6989-9769>

⁶ nva@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6140-5699>

⁷ barsik7718@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-9524-5468>

Аннотация. В статье представлены результаты исследований по бесконтактной ультразвуковой сушке текстильной ваты при различных температурах и скоростях воздушного потока. В сушильной камере формировалась стоячая волна, что позволило обеспечить уровень звукового давления не менее 160 дБ. В результате проведенных экспериментов было выявлено сокращение продолжительности процесса ультразвуковой сушки текстильной ваты в 5,1–7,5 раз по сравнению с конвективной сушкой при скорости воздушного потока 1 м/с и в 2,4–3,5 раза при скорости потока 3,5 м/с. Также показано, что при скорости потока 1 м/с происходит экономия потребляемой электроэнергии на 68–75 % (в зависимости от температуры сушильного воздуха), тогда как при скорости потока 3,5 м/с на 57–61 %.

Ключевые слова: ультразвуковая сушка, текстильная вата, бесконтактное воздействие, уровень звукового воздействия, стоячая звуковая волна.

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-10359, <https://rscf.ru/project/21-79-10359>.

Для цитирования: Интенсификация процесса сушки ваты при помощи ультразвука / В. Н. Хмелёв [и др.] // Ползуновский вестник. 2024. № 2, С. 193–199. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.025. EDN: <https://elibrary.ru/RUBQIF>.

Original article

INTENSIFICATION OF WOOL DRYING PROCESS USING ULTRASOUND

Vladimir N. Khmelev¹, Andrey V. Shalunov², Maria K. Kosheleva³,
Ivan A. Manyakhin⁴, Sergey A. Terentiev⁵, Viktor A. Nesterov⁶, Nikolay A. Azarov⁷

^{1, 2, 4, 5, 6, 7} Biysk Technological Institute (branch) FSBEI HE Altai State Technical University named after I.I. Polzunova, Biysk, Russia

³ Russian State University named after A. N. Kosygina (Technology. Design. Art), Russia, Moscow

¹ vnh@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7089-3578>

² shalunov@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5299-9931>

³ otxpaxt@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3774-1510>

⁴ manyaxin.ivan@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6989-9769>

⁵ sergey@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6989-9769>

⁶ nva@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6140-5699>

⁷ barsik7718@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-9524-5468>

Abstract. The article presents the results of research on non-contact ultrasonic drying of textile wool at various temperatures and air flow rates. A standing wave was formed in the drying chamber, which made it possible to ensure a sound pressure level of at least 160 dB. As a result of the experiments, it was revealed that the duration of the ultrasonic drying process of textile wool was reduced by 5.1-7.5 times compared to convective drying at an air flow speed of 1 m/s and by 2.4-3.5 times at flow rate 3.5 m/s. It is also shown that at a flow speed of 1 m/s, energy consumption is saved by 68-75% (depending on the temperature of the drying air), while at a flow speed of 3.5 m/s by 57-61%.

Keywords: ultrasonic drying, textile wadding, non-contact exposure, sound exposure level, standing sound wave.

Acknowledgements: The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 21-79-10359, <https://rscf.ru/project/21-79-10359>.

For citation: Khmelev, V.N., Shalunov, A.V., Kosheleva, M.K., Manyakhin, I.A., Terentiev, S.A., Nesterov, V.A. & Azarov, N.A. (2024). Intensification of the wool drying process using ultrasound. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 193-199. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.02.025. EDN: <https://RUBQIF>.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее распространенных представителей класса волокнистых материалов является текстильная вата. Она применяется для перевязки ран, выполнения различных медицинских операций. Также вату используют для гигиенических процедур: снятия макияжа, ежедневного ухода для взрослых и детей [1].

В процессе производства ваты операцию сушки выполняют достаточно часто. На начальной стадии производства производится заготовка сырья. Собранный с поля хлопок-сырец поступает на хлопкоочистительный пункт и очищается от коробочек механическим способом, отделяется от семян и мусора, затем исходное сырьё промывают и сушат до определённой влажности.

Существует способ получения гироскопической ваты путем удаления пектина химическим путём. Гироскопическая вата обладает повышенной смачиваемостью, что наиболее востребовано в отрасли медицины. По-

мимо этого, гироскопическая вата полезна для текстильной промышленности, так как лучше поддаётся окрашиванию по сравнению с ватой низкого сорта [2, 3].

Химически обрабатывают хлопковую вату при отбеливании. На исходный материал могут воздействовать с помощью различных щелочных или кислых сред. Затем вата должна быть промыта от химических веществ с помощью воды и высушена [4, 5]. Выбор метода высушивания определяется физическим состоянием сырья, химическим составом и свойствами конечного продукта [6–8].

Перспективным направлением, которое позволяет повысить энергоэффективность высушивания волокнистых материалов, является ультразвуковая (УЗ) сушка. За счёт ультразвука высокой интенсивности можно направлять в материалы энергию, которая пропорциональна квадрату частоты акустических колебаний. Однако, как правило, ультразвуковое воздействие осуществляется совместно с другими видами сушки, например, конвективной, инфракрасной и др. [9–12].

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 2 2024

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

С целью выявления механизмов протекания процесса сушки с применением ультразвука была создана экспериментальная установка, схема которой приведена на рисунке 1.

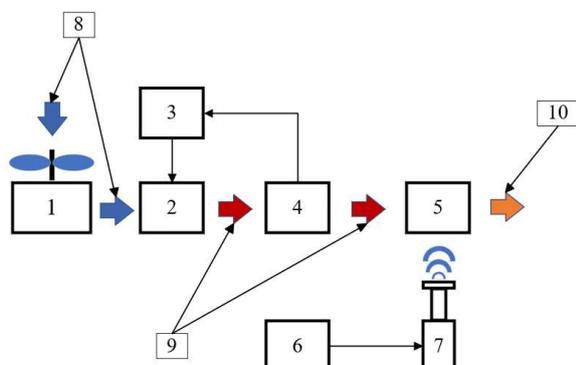


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки: 1 – вентилятор, 2 – электронагреватель, 3 – регулятор температуры, 4 – термопара, 5 – сушильная камера, 6 – ультразвуковой генератор, 7 – ультразвуковой излучатель, 8 – холодный воздух, 9 – теплый воздух, 10 – теплый воздух с водяным паром

Figure 1 - Diagram of the experimental installation: 1 - fan, 2 - electric heater, 3 - temperature controller, 4 - thermocouple, 5 - drying chamber, 6 - ultrasonic generator, 7 - ultrasonic emitter, 8 - cold air, 9 - warm air, 10 - warm air with steam

Вентилятор (1) задает скорость потока воздуха в сушильной камере. Электронагреватель (2) осуществляет подогрев воздуха до температуры, заданной в регуляторе температуры (3), измерительным датчиком которого является термопара (4). Воздушный поток проходит через сушильную камеру (5) с образцами ваты. В схеме стенда имеется генератор ультразвуковых колебаний (6), соединённый с ультразвуковым излучателем (7), который размещается в нижней части сушильной камеры. Фотография экспериментального стенда представлена на рисунке 2.

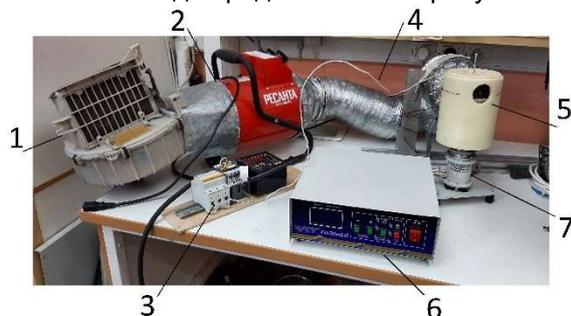


Рисунок 2 – Экспериментальный стенд для УЗ сушки

Figure 2 - Experimental stand for US drying

Сушильная камера состоит из цилиндрического корпуса (1), крышки (2), поршне-

вого ультразвукового излучателя (4) и сетчатого поддона (5), на котором расположены образцы текстильной ваты (3) (рис. 3).

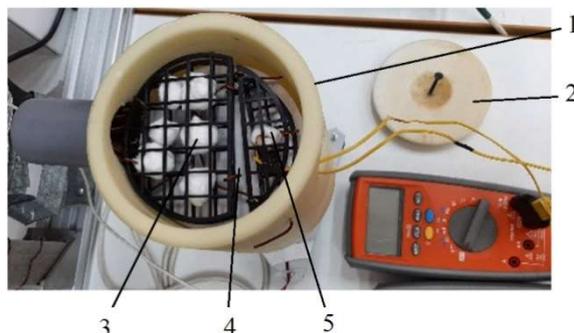


Рисунок 3 – Сушильная камера: 1 – корпус камеры, 2 – крышка, 3 – образцы из ваты, 4 – поршневой излучатель, 5 – сетчатый поддон

Figure 3 - Chamber for drying textile wool: 1 - chamber body, 2 - cover, 3 - samples of wool, 4 - piston emitter, 5 - mesh tray

Для создания ультразвуковых колебаний использовался аппарат УЗАГС-0,1/22-О семейства «СОЛОВЕЙ» с поршневым излучателем (рис. 4).



Рисунок 4 – Ультразвуковой аппарат с поршневым излучателем: 1 – электронный генератор, 2 – колебательная система

Figure 4 - Ultrasonic device with a piston emitter: 1 - electronic generator, 2 - oscillatory system

Ультразвуковой аппарат потребляет мощность не более 100 Вт от однофазной сети 220 В и формирует УЗ колебания частотой $22 \pm 0,5$ кГц, при этом уровень акустического давления в сушильной камере составляет не менее 160 дБ.

Для формирования ультразвукового поля высокой интенсивности в сушильной камере был обеспечен режим стоячей волны. Опытным путём было отрегулировано резонансное расстояние между поверхностью излучателя и крышкой камеры для сушки. В качестве наглядного индикатора стоячей волны использовался водяной аэрозоль, генерируемый бытовым увлажнителем (рис. 5).



Рисунок 5 – Стоячая волна

Figure 5 - Standing wave

Для ультразвуковых систем стоячая волна характеризуется устойчивым в пространстве расположением чередующихся максимумов (пучностей) и минимумов (узлов) амплитуды колебаний, при этом частицы аэрозоля скапливаются в узлах стоячей волны. На рис. 5 расстояние между излучателем и крышкой составляет две длины волны ультразвуковых колебаний в воздухе.

С помощью экспериментального стенда осуществлялась конвективная сушка текстильной ваты при температурах воздуха 30 °С, 40 °С, 50 °С. При этом для каждой температуры обеспечивалась скорость потока 1 и 3,5 м/с. Также при заданных параметрах конвективной сушки производилось воздействие УЗ колебаниями высокой интенсивности.

В процессе экспериментальных исследований обеспечивалась начальная (37 %) и конечная (8 %) влажности, соответствующие промышленной технологии сушки текстильной ваты на последнем этапе ее производства.

Масса образцов ваты (m_e), соответствующая заданной влажности (ω), определялась по формуле (1):

$$m_B = \frac{100 * m_{св}}{100 - \omega}, \quad (1)$$

где $m_{св}$ – масса абсолютно сухой ваты (50,7 г).

Масса ваты измерялась на весах Pocket Scale MH-200 с точность $\pm 0,01$ г. Для контроля скорости воздушного потока использовался цифровой анемометр UT363S.

Энергоэффективность УЗ сушки E_{USonic} определялась методом сравнения затраченной электрической энергии на конвективную сушку и на комбинированную (конвективную и ультразвуковую) при неизменных параметрах конвективной сушки и высушиваемого материала (2):

$$E_{USonic} = \left(1 - \frac{E_{conv+USonic}}{E_{conv}}\right) \cdot 100\%, \quad (2)$$

где E_{conv} – электрическая энергия, потребляемая в ходе конвективной сушки, кВт·ч;

$E_{conv+USonic}$ – электрическая энергия, потребляемая в ходе комбинированной (конвективной и ультразвуковой) сушки, кВт·ч.

Измерение потребляемой электрической энергии осуществлялось с помощью прибора PM15 фирмы SEW.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На рисунке 6 представлены кривые конвективной и УЗ сушки при скорости воздушного потока 1 м/с и температурах 30 °С, 40 °С и 50 °С.

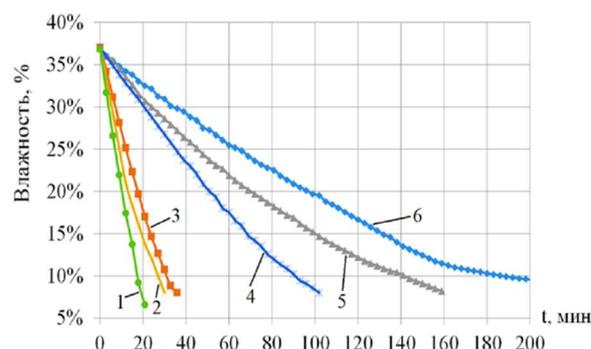


Рисунок 6 – Кривые сушки текстильной ваты при скорости воздушного потока 1 м/с: 1 – с УЗ при 50 °С, 2 – с УЗ при 40 °С, 3 – с УЗ при 30 °С, 4 – без УЗ при 50 °С, 5 – без УЗ при 40 °С, 6 – без УЗ при 30 °С

Figure 6 - Drying curves of textile wool at an air flow speed of 1 m/s: 1 - with ultrasound at 50°C, 2 - with ultrasound at 40°C, 3 - with ultrasound at 30°C, 4 - without ultrasound at 50°C, 5 - without ultrasound at 40°C, 6 - without ultrasound at 30°C

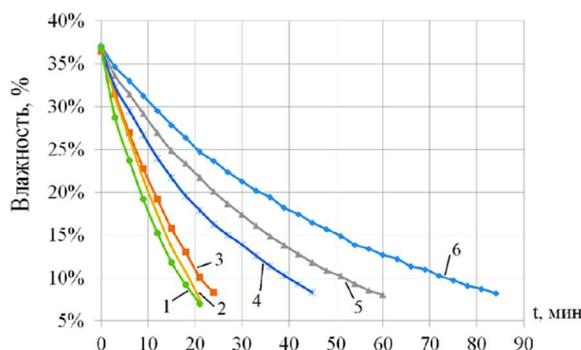


Рисунок 7 – Кривые сушки текстильной ваты при скорости воздушного потока 3,5 м/с: 1 – с УЗ при 50 °С, 2 – с УЗ при 40 °С, 3 – с УЗ при 30 °С, 4 – без УЗ при 50 °С, 5 – без УЗ при 40 °С, 6 – без УЗ при 30 °С

Figure 7 - Drying curves of textile wool at an air flow speed of 3,5 m/s: 1 - with ultrasound at 50°C, 2 - with ultrasound at 40°C, 3 - with ultrasound at 30°C, 4 - without ultrasound at 50°C, 5 - without ultrasound at 40°C, 6 - without ultrasound at 30°C

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА СУШКИ ВАТЫ ПРИ ПОМОЩИ УЛЬТРАЗВУКА

При температуре сушильного агента 30 °С время высушивания с применением конвективной технологии сушки составило 4 часа 30 минут, однако акустическое облучение позволило уменьшить время обезвоживания ваты до 36 минут (в 7,5 раз). При условии, когда поддерживался температурный режим 40 °С, длительность конвективной сушки составила 2 часа 39 минут, при этом УЗ излучение позволило сократить время высушивания текстильной ваты до 30 мин (в 5,3 раза) и при 50 °С конвективная сушка – 1 час 42 минуты, УЗ сушка – 20 минут (в 5,1 раза).

На рисунке 7 представлены графики зависимости влажности ваты от времени, демонстрирующие процесс конвективной и УЗ сушки текстильной ваты при скорости потока 3,5 м/с и температурах 30 °С, 40 °С, 50 °С.

Конвективная сушка при 30 °С осу-

ществлялась в течение 1 часа 24 минут. Дополнительное воздействие УЗ колебаниями обеспечило сокращение продолжительности сушки до 24 минут (в 3,5 раза). При температуре воздуха 40 °С время конвективной сушки составило 1 час, с УЗ – 21 минуту (в 2,9 раза). При условии, когда поддерживался температурный режим 50 °С, длительность высушивания при помощи конвективного способа составила 50 минут, УЗ излучение позволило уменьшить время обезвоживания ваты до 21 минуты (в 2,4 раза).

ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты экспериментов по сушке текстильной представлены в таблице 1. Параметр «ускорение сушки» является отношением продолжительности конвективной сушки к продолжительности УЗ сушки.

Таблица 1 – Итоги сушки текстильной ваты

Table 1 - Results of drying textile wool

Температура потока нагретого воздуха, °С	Скорость потока нагретого воздуха, м/с	Ускорение сушки
30	1	7,5
30	3,5	3,5
40	1	5,3
40	3,5	2,9
50	1	5,1
50	3,5	2,4

При скорости воздушного потока 1 м/с наблюдается сокращение продолжительности УЗ сушки в 5,1–7,5 раза. При увеличении скорости воздушного потока до 3,5 м/с ускорение УЗ сушки составляет от 2,4 до 3,5 раз в зависимости от температуры. При этом чем меньше

температура воздуха, тем больше вклад УЗ колебаний в интенсификацию процесса сушки.

В таблице 2 представлены результаты измерений энергетических затрат на конвективную и комбинированную сушку, а также энергоэффективность УЗ сушки.

Таблица 2 – Энергическая эффективность УЗ сушки ваты

Table 2 - Energy efficiency of ultrasonic drying of wool

Температура воздушного потока, °С	Скорость воздушного потока, м/с	Конвективная сушка, Вт·ч	Комбинированная (конвективная + УЗ) сушка, Вт·ч	Энергоэффективность УЗ сушки, %
30	1	220	70	68
30	3,5	230	90	61
40	1	400	100	75
40	3,5	390	160	59
50	1	430	110	74
50	3,5	760	330	57

УЗ сушка обеспечивает сокращение потребления электроэнергии на 75 % при скорости воздушного потока 1 м/с и на 59 % при скорости 3,5 м/с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведения экспериментальных исследований по УЗ сушке текстильной ваты

были обеспечены различные температурные и скоростные режимы сушильного агента. Было выявлено, что бесконтактное ультразвуковое воздействие позволяет сократить время сушки текстильной ваты в 7,5 раз по сравнению с конвективной сушкой при тех же условиях проведения экспериментов. Сокра-

шение продолжительности сушки сопровождается уменьшением потребляемой электроэнергии на 75 %. При этом оптимальными условиями УЗ сушки являются низкие скорость и температура воздушного потока.

Ультразвуковая сушка может быть использована на предприятиях текстильной промышленности для обеспечения сокращения продолжительности и энергопотребления процесса сушки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Расчетно-экспериментальное исследование эффективной теплопроводности волокнистых материалов / Н.Н. Воробьев [и др.] // Труды ВИАМ. 2021. №7. 95–102. DOI : 10.18577/2307-6046-2021-0-7-95-102.
2. Производство технической текстильной ваты. Иваново. URL : <https://iv-teh.ru/proizvodstvo-tehnicheskoy-tekstilnoj-vati> (дата обращения: 12.11.2023).
3. Рахмонова Р.Б., Бахриддинова Г.О. Формирование структуры хлопкового волокна // Academic research in educational sciences. 2021. Т. 2, № 7. С. 72–80. DOI : 10.24412/2181-1385-2021-7-72-80.
4. Способ получения ваты : пат. 2157434С1 Рос. Федерация, № 99104687/12 ; заявл. 10.03.1999 ; опубл. 10.10.2000.
5. Нициевская К.Н., Нечаева В.С. Влияние ультразвукового воздействия на растительное сырьё // Ползуновский вестник. 2022. № 2. С. 55–62. DOI : 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.007.
6. Ёкубов М.М., Мухитдинов Р.Б., Леженкин Н.И. Процесс сушки. Конвективная и кондуктивная сушка // Science and Education. 2022. Т. 3, № 6. С. 527–531. ISSN 2181-0842.
7. Kayumov A.M., Parpiev A. Features of drying cotton-raw // Industrial technologies and engineering: VIII international annual conference. 2022. Т. 2650, № 1. С. 030008. DOI : 10.1063/5.0105464.
8. Soomro N. Effect of drying methods on quality of cotton fibers before ginning // European Scientific Journal. 2014. Т. 10, № 24. С. 303–312. ISSN 1857-7431.
9. Изучение процесса химической очистки хлопкового волокна в реакторе периодического действия на производстве медицинской гигроскопической ваты / Кошелева М.К. [и др.] // Успехи химии и химических технологий. 2011. Т. 25, №11(127). 78–82.
10. Исследование процесса ультразвуковой сушки различных материалов / В.Н. Хмелев [и др.] // Южно-Сибирский научный вестник. 2021. № 6 (40). С. 69–73. DOI : 10.25699/SSSB.2021.40.6.021.
11. Разработка экспериментального стенда для исследования непрерывной конвективной сушки текстильных материалов при контактном ультразвуковом воздействии / В.Н. Хмелёв [и др.] // Industrial Processes and Technologies. 2022. Т. 2, № 2(4). С. 64–76. DOI : 10.37816/2713-0789-2022-2-2(4)-64-76.
12. Излучатели для формирования высокоин-

тенсивных ультразвуковых колебаний в газовых средах различного назначения: ZJSJJW / P.C. Доровских [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 226–237. DOI : 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.31.

Информация об авторах

В. Н. Хмелев – доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе Бийского технологического института Алтайского государственного технического университета.

А. В. Шалунов – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Бийского технологического института Алтайского государственного технического университета.

М. К. Кошелева – кандидат технических наук, профессор кафедры энергоресурсоэффективных технологий, промышленной экологии и безопасности Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство).

И. А. Маняхин – младший научный сотрудник отдела научно-исследовательской работы сотрудников и преподавателей Бийского технологического института Алтайского государственного технического университета.

С. А. Терентьев – кандидат технических наук, доцент кафедры методов и средств измерений и автоматизации Бийского технологического института Алтайского государственного технического университета.

В. А. Нестеров – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Бийского технологического института Алтайского государственного технического университета.

Н. А. Азаров – студент группы ПС-21 Бийского технологического института Алтайского государственного технического университета.

REFERENCES

1. Vorobyov, N.N., Barinov, D.Ya., Zuev, A.V. & Pakhomkin, S.I. (2021). Computational and experimental study of the effective thermal conductivity of fibrous materials. *Proceedings of VIAM*, (7), 95-102. (In Russ.). DOI : 10.18577/2307-6046-2021-0-7-95-102.
2. *Sait the company "IVTECHNO"* Production of technical textile wool. Retrieved from <https://iv-teh.ru/proizvodstvo-tehnicheskoy-tekstilnoj-vati>. (In Russ.).
3. Rakhmonova, R.B. & Bakhriddinova, G.O. (2021). Formation of cotton fiber structure. *Academic research in educational sciences*, 2(7), 72-80. DOI : 10.24412/2181-1385-2021-7-72-80.
4. Cheshkova, A.V., Nadtoka, I.B., Melnikov, B.N. (2007). Method of producing cotton wool. Pat. 2157434C1 Russian Federation, published on 10.10.2000. Bull. No. 99104687/12. (In Russ.).

5. Nitsievskaya, K.N. & Nechaeva, V.S. (2022). Influence of ultrasonic exposure on plant raw materials. *Polzunovsky vestnik*, (2), 55-62. (In Russ.). DOI : 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.007.

6. Yokubov, M.M., Mukhitdinov, R.B., Lezhenkin, N.I. (2022). Drying process. Convective and conductive drying. *Science and Education*, 3(6), 527-531. ISSN 2181-0842.

7. Kayumov, A.M., Parpiev, A. (2022). Features of drying cotton-raw. *Proceedings of the 8-th international annual conference*. 2650(1), 030008. DOI : 10.1063/5.0105464.

8. Soomro, N. (2014). Effect of drying methods on quality of cotton fibers before ginning. *European Scientific Journal*. 10(24). 303-312. ISSN 1857-7431.

9. Kosheleva, M.K., Shchegolev, A.A., Keremetina, A.P., Bednyashin, A.A. & Borushko, N.P. (2011). Study of the process of chemical purification of cotton fiber in a batch reactor in the production of medical absorbent cotton wool. *Advances in chemistry and chemical technology*, 25(11 (127)), 78-82. (In Russ.).

10. Khmelev, V.N., Shalunov A.V., Nesterov V.A., Terentyev, S.A., Tertishnikov, P.P., Bochenkov, A.S. & Golykh, R.N. (2021). Study of the process of ultrasonic drying of various material. *South Siberian Scientific Bulletin*, (6(40)), 69-73. (In Russ.). DOI : 10.25699/SSSB.2021.40.6.021.

11. Khmelev, V.N., Nesterov, V.A., Kosheleva, M.K., Genne, D.V. & Tertishnikov, P.P. (2022). Development of an experimental stand for studying continuous convective drying of textile materials under contact ultrasonic influence. *Industrial Processes and Technologies*, 2(2(4)), 64-76. (In Russ.). DOI : 10.37816/2713-0789-2022-2-2(4)-64-76.

12. Dorovskikh, R.S., Puzhaikina, A.E., Bochenkov, A.S., Shalunov, A.V. & Nesterov, V.A. (2023). Emitters for formation of high-intensity ultrasonic oscillations in gas media for various purposes: ZJSJJW. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 226-

237. (In Russ.). DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.31.

Information about the authors

V.N. Khmelev - Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Director for Scientific Work of the Biysk Technological Institute of the Polzunov Altai State Technical University.

A.V. Shalunov - Doctor of Technical Sciences, leading researcher at the Biysk Technological Institute of Polzunov Altai State Technical University.

M.K. Kosheleva - Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Energy and Resource Efficient Technologies, Industrial Ecology and Safety of the Russian State Impact University named after. A.N. Kosygina (Technology. Design. Art).

I.A. Manyakhin - junior scientific worker of the department of research work of employees and teachers of the Biysk Technological Institute of the Polzunov Altai State Technical University.

S.A. Terentiev - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Methods and Instruments of Measurement and Automation, Biysk Technological Institute, Polzunov Altai State Technical University.

V.A. Nesterov - candidate of technical sciences, leading researcher at the Biysk Technological Institute of the Polzunov Altai State Technical University.

N.A. Azarov - student of the PS-21 Biysk Technological Institute of Polzunov Altai State Technical University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 30 октября 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 06 мая 2024.

The article was received by the editorial board on 30 Oct 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 06 May 2024.



Научная статья

2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)

УДК 66.069.832: 534-8

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.026



МЕХАНИЗМЫ ВТОРИЧНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО РАСПЫЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ

Ольга Борисовна Кудряшова¹, Андрей Викторович Шалунов²,
Сергей Сергеевич Титов³, Роман Сергеевич Доровских⁴

¹ Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН, Бийск, Россия

^{2, 3, 4} Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО АлтГТУ, Бийск, Россия

¹ olgakudr@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0404-8736>

² shalunov@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5299-9931>

³ titov.sergey.s@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5286-173X>

⁴ dorovskih_roman@mail.ru

Аннотация. Распыление жидкости является основой различных практических приложений, таких как производство лекарственных препаратов, косметики, пищевой промышленности и т.д. Чаще всего на практике необходимо получить аэрозоль высокой дисперсности с достаточно большой производительностью. Однако создание аэрозоля с максимальной дисперсностью и высокой производительностью является сложной задачей. Одни методы распыления обладают высокой дисперсностью, но низкой производительностью, а другие обеспечивают достаточную производительность, но генерируют капли больших размеров. Вторичное ультразвуковое распыление может решить эту проблему, позволяя бесконтактно дробить капли или струи с помощью мощного ультразвукового поля. Для этого предварительно генерированный каким-либо способом поток капель или струя жидкости направляется в ультразвуковой излучатель в виде полого цилиндра, в котором создается ультразвуковое поле. При достаточно высокой интенсивности ультразвука реализуются условия для дальнейшего дробления капель или разрушения струй жидкости, и на выходе будут получены капли высокой дисперсности. Производительность такого процесса ограничена лишь скоростью поступления потока жидкости в устройство вторичного распыления. В данной статье рассматриваются возможные механизмы вторичного ультразвукового распыления, предложена математическая модель этого процесса и найдены закономерности процесса в зависимости от определяющих параметров ультразвукового поля и физико-химических свойств жидкости. Предложены следующие возможные механизмы разрушения струй и капель: непосредственное разрушение капель при попадании во фронт ультразвуковой волны; кавитационный механизм разрушения капель и струй. Доминирующий механизм дробления зависит от параметров задачи и, в свою очередь, определяет минимальный размер получающихся капель. Выявлены свободные параметры модели, которые необходимо определить экспериментально. Результаты работы помогут оптимизировать процесс вторичного ультразвукового распыления и совершенствовать технологии распыления жидкости в различных областях применения.

Ключевые слова: распыление, аэрозоль, вторичное распыление, минимальный размер капель, дисперсность, механизм разрушения капель, кавитация, математическая модель.

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-19-00875, <https://rscf.ru/project/23-19-00875>.

Для цитирования: Механизмы вторичного ультразвукового распыления жидкости / О. Б. Кудряшова [и др.] // Ползуновский вестник. 2024. № 2, С. 200–207. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.026. EDN: <https://elibrary.ru/ZXFXYU>.

Original article

MECHANISMS OF SECONDARY ULTRASONIC LIQUID SPRAY**Olga B. Kudryashova¹, Andrey V. Shalunov², Sergey S. Titov³,
Roman S. Dorovskikh⁴**¹ Institute for problems of Chemical and Energetic Technologies SB RAS, Biysk, Russia^{2, 3, 4} The Biysk Technological Institute (Branch) of Altai State Technical University, Biysk, Russia¹ olgakudr@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0404-8736>² shalunov@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5299-9931>³ titov.sergey.s@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5286-173X>⁴ dorovskikh_roman@mail.ru

Abstract. *Liquid atomization is the basis of various practical applications such as the production of pharmaceuticals, cosmetics, and food processing. In practice, it is often necessary to obtain an aerosol of high dispersion with sufficient productivity. However, creating an aerosol with maximum dispersion and high productivity is a difficult task. Some spray methods provide high dispersion but low throughput, while others provide sufficient throughput but generate large droplets. Secondary ultrasonic atomization can solve this problem by allowing non-contact atomization of droplets or jets using a powerful ultrasonic field. To do this, a stream of droplets or a stream of liquid previously generated in some way is directed into an ultrasonic emitter in the form of a hollow cylinder, in which an ultrasonic field is created. At a sufficiently high ultrasound intensity, conditions are realized for further fragmentation of droplets or destruction of liquid jets, and the output will be highly dispersed droplets. The productivity of such a process is limited only by the rate at which the liquid flow enters the secondary spraying device. This article discusses possible mechanisms of secondary ultrasonic atomization, proposes a mathematical model of this process, and finds patterns of the process depending on the defining parameters of the ultrasonic field and the physicochemical properties of the liquid. The following possible mechanisms for the destruction of jets and droplets have been proposed: direct destruction of droplets when they hit the front of an ultrasonic wave; cavitation mechanism of destruction of drops and jets. The dominant crushing mechanism depends on the parameters of the problem and, in turn, determines the minimum size of the resulting droplets. The free parameters of the model, which need to be determined experimentally, have been identified. The results of this work will help optimize the process of secondary ultrasonic atomization and improve liquid atomization technologies in various fields of application.*

Keywords: *spraying, aerosol, secondary spraying, minimum droplet size, dispersion, droplet destruction mechanism, cavitation, mathematical model.*

Acknowledgements: *The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation № 23-19-00875, <https://rscf.ru/project/23-19-00875>.*

For citation: Kudryashova, O.B., Shalunov, A.V., Titov, S.S. & Dorovskikh, R.S. (2024). Mechanisms of secondary ultrasonic liquid spray. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 200-207. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.02.026. EDN: <https://RUBQIF>.

ВВЕДЕНИЕ

Ультразвуковое распыление жидкости широко используется в промышленных приложениях, таких как сжигание топлива [1], эмульгирование наноэмульсий [2], охлаждение распылением [3], мокрое удаление пыли [4] и увлажнение воздуха [5], пиролиз распылением [6] и т.д. Преимуществами ультразвукового распыления перед другими методами является высокая дисперсность получаемых капель с узким распределением по размерам, что бывает важно особенно в медицинских, химических и фармацевтических отраслях производства [7–9]. Другое преимущество метода ультразву-

кового распыления жидкости является высокий по сравнению с другими методами распыления КПД, до 1 % [10, 11].

Однако для некоторых практических целей необходимо обеспечить высокую производительность генерации жидких капель, что является проблемой для ультразвукового метода распыления. Причем, чем выше требуемая дисперсность аэрозоля, тем ниже производительность [10]. Например, не более 0,1 мл/(с·см²) при генерации капель диаметром до 10 мкм.

В работе [12] предложен модифицированный способ двухстадийного ультразву-

вого распыления жидкости. Его особенность заключается во втором этапе, когда поток аэрозоля, образованного традиционным ультразвуковым способом, подвергается снова мощному ультразвуковому воздействию. В соответствии с предложенной в работе моделью капли будут продолжать дробиться по мере прохождения через ультразвуковое поле. Увеличение производительности при сохранении целевого размера капель (менее 10 мкм в диаметре) обеспечивается благодаря следующей идее. Первичное ультразвуковое распыление жидкости предлагается проводить с максимальной производительностью, но с низкой дисперсностью капель. А при вторичном ультразвуковом дроблении добиваться необходимой дисперсности.

Предложенная идея обладает очевидными перспективами практического применения и заслуживает дальнейшего исследования и усовершенствования. В качестве метода первичного распыления нет необходимости использовать именно ультразвуковое. Вторичному ультразвуковому дроблению можно подвергнуть поток капель жидкости, образованный любым способом, а также струю сплошной жидкости, подаваемую в область с мощным ультразвуковым полем под давлением.

Механизмы ультразвукового распыления слоя жидкости хорошо изучены [13, 14]. Диспергирование происходит за счет отрыва капель жидкости с гребнем капиллярных волн, создаваемых на поверхности жидкости с помощью ультразвуковых колебаний. На ультразвуковое диспергирование также влияет кавитационная активность в слое жидкости. Согласно теории «конъюнкции», образование капель является результатом взаимодействия случайных гидравлических ударных волн, возникающих в результате кавитационного возмущения, и капиллярных волн [15].

Однако процессы вторичного распыления, происходящие в потоке капель или струй жидкости, проходящих через мощное ультразвуковое поле, до сих пор не рассматривались. Очевидно, эти процессы комплексны, при этом могут быть реализованы разные механизмы дробления, а не один. Также может происходить коагуляция капель и испарение жидкости, поэтому следует ожидать, что на результат распыления (размер капель, производительность процесса) влияют как параметры ультразвукового воздействия и условия (температура, влажность), так и свойства жидкости.

Целью работы является теоретическое исследование процесса вторичного ультразвукового распыления и выявление его возможных механизмов.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим источник мощного ультразвукового поля в виде полого цилиндра. С торца цилиндра подается поток капель или струя жидкости (рисунок 1). На выходе получаем облако мелкодисперсного аэрозоля.

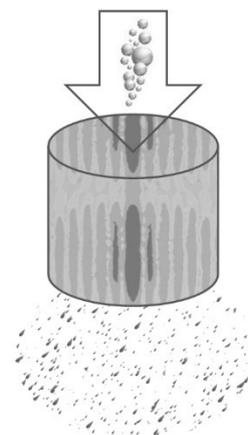


Рисунок 1 – Схема вторичного ультразвукового распыления жидкости

Figure 1 - Diagram of secondary ultrasonic liquid spraying

Будем решать две задачи. Первая – разрушение потока капель. Вторая – распыление струи, поданной в ультразвуковой излучатель под давлением.

1. Рассмотрим поток капель с начальным диаметром D_0 , движущийся в воздушной среде в полом цилиндре со скоростью v . В цилиндре создается мощное ультразвуковое поле с уровнем звука L_p , частотой ω . До каких размеров могут разрушиться капли?

2. Рассмотрим случай разрушения струи жидкости диаметра D_f , движущейся под давлением p_0 в цилиндре в мощном ультразвуковом поле. Каков будет размер капель в этом случае?

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВТОРИЧНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО РАСПЫЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ

Рассмотрим несколько вероятных механизмов дробления капель и струй.

1. Непосредственное разрушение капель

на фронте ультразвуковой волны. Рассмотрим каплю диаметра D , попавшую во фронт звуковой волны. Анализируя действующие на нее силы, получим, следуя [14], значения пороговой интенсивности разрушения частицы:

$$I_i = 2W_l \left(\frac{\sigma_{sp}}{D\omega\rho_l} \right)^2, \quad (1)$$

где σ_{stp} – предел прочности частицы, Н/м², ω – частота излучения, ρ_l – плотность жидкости, кг/м³, $W_l = \rho_l c$ – волновое сопротивление, c – скорость звука, м/с². Следует иметь в виду, что предел прочности воды при импульсном воздействии на несколько порядков меньше, чем справочная (теоретическая) величина [16].

Из уравнения (1) получим выражение для минимального диаметра капли, до которого может быть разрушена капля при заданном уровне интенсивности воздействия I :

$$D_{min} = \frac{\sigma_{stp}}{\omega \rho_l} \sqrt{\frac{2W_l}{I}}, \quad (2)$$

Интенсивность воздействия связана с уровнем звукового давления p известным соотношением:

$$I = \frac{p^2}{2W_l}. \quad (3)$$

Учитывая выражение, связывающее уровень звука L_p со звуковым давлением $p = 20 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{\frac{L_p}{20}}$, получим зависимость минимального диаметра D_{min} , до которого может дробиться капля, от уровня звука (рисунок 2).

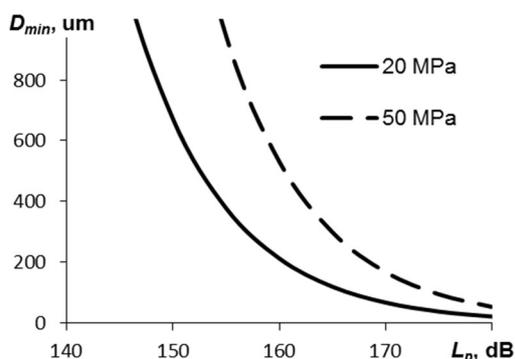


Рисунок 2 – Зависимость минимального размера капли от уровня звука для разных значений предела прочности частицы σ_{stp}

Figure 2 - Dependence of the minimum droplet size on the sound level for different values of the particle strength limit σ_{stp}

Если начальный размер капли более 150 мкм, то уровень звука менее 160 дБ не приведет к ее разрушению в соответствии с предложенным механизмом прямого разрушения. Отметим, что предел прочности капли σ_{stp} является свободным параметром модели, требующим экспериментального определения. Минимальный размер капель зависит также и от частоты воздействия (рисунок 3).

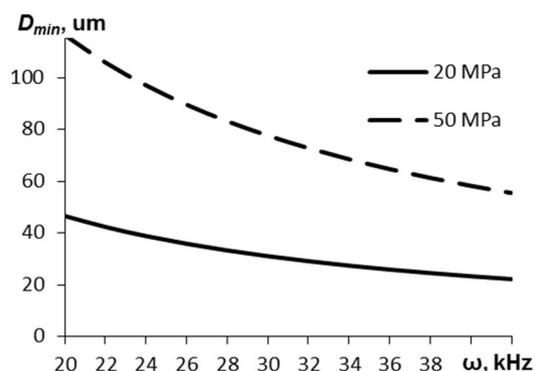


Рисунок 3 – Зависимость минимального размера капли от частоты УЗ, расчет для $L_p = 174$ дБ

Figure 3 - Dependence of the minimum droplet size on the ultrasonic frequency, calculation for $L_p = 174$ dB

Далее определим время, которое необходимо капле находиться в ультразвуковом поле, чтобы разрушиться до минимальных значений. Пусть скорость разрушения $\frac{dD}{dt} = v_f$ постоянна. Необходимо, чтобы за время движения в ультразвуковом поле капля успела разрушиться от начальной до минимальной величины. Время нахождения в поле t_{exp} определится скоростью движения капли v_l и длиной цилиндра $L_t - t_{exp} = L_t / v_l$. Время разрушения: $t_f = \frac{D_0 - D_{min}}{v_f}$. Тогда необходимым

условием разрушения будет $t_{exp} \geq t_f$, или

$$\frac{v_f}{v_l} > \frac{D_0 - D_{min}}{L_t}. \quad (4)$$

Учитывая, что длина полого цилиндра много больше размеров капли, условие (4) выполняется в большинстве случаев.

2. Кавитационное разрушение капли.

Далее представлен возможный механизм разрушения капли, если энергии в соответствии с уравнением (1) будет недостаточно (интенсивность воздействия меньше пороговой для данного размера капли).

Известно, что ультразвук допороговой интенсивности может создавать кавитацию внутри жидкой капли, если для этого будет достаточно времени и энергии. При этом, поскольку капля движется, кавитационные пузырьки не будут схлопываться, а лишь расширяться [17].

Предположим, что пузырьки, расширяясь, сливаются внутри сферической капли в один пузырек. Если давление в пузырьке больше атмосферного, то в какой-то момент капля разрушится, подобно мыльному пузырю, с образованием мелких капель, диаметр

которых соответствует толщине стенки «мыльного пузыря» в момент разрушения. Такая модель предложена и подтверждена экспериментально в работе [18] для двух способов распыления жидкости. Рассмотрим ее применительно к поставленной задаче.

В работе Кедринского [17] введено понятие коэффициента кавитации, равного отношению объема кавитационных пузырьков к объему жидкости. В случае развитой кавитации это отношение равно $k = 0.2-0.3$.

Пусть объем капли до расширения пузырька – $W_0 = \frac{\pi D_0^3}{6}$. В ультразвуковом поле

создаются условия для развития кавитации, и суммарный объем пузырьков W_b практически мгновенно становится равен 20–30 % от объема жидкости в капле ($W_b / W_0 = k$). Так как капля имеет небольшие размеры (от десятков мкм до мм), близко расположенные пузырьки в ней сливаются в один и продолжают расширяться, растягивая стенки капли. Диаметр пузырька D_b определится как

$$D_b = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot W_b}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot k \cdot W_0}{\pi}} = \sqrt[3]{k} D_0. \quad (5)$$

Объем расширившегося пузырька перед разрушением «мыльного пузыря» будет равен

$$W_{\max} = \frac{\pi D_{\max}^3}{6}.$$

Рассматриваемые процессы обладают высокой скоростью, поэтому расширение кавитационного пузырька можно считать адиабатическим:

$$\frac{D_{\max}}{D_b} = \left(\frac{p_0}{p_{\min}} \right)^{\frac{1}{3\gamma}}, \quad (6)$$

где γ – показатель адиабаты паров жидкости, p_{\min} – давление в пузырьке в момент разрушения, Па, p_0 – начальное давление в капле, Па.

Давление в пузырьке перед разрушением можно вычислить из соотношения равенства внутренней энергии пара в пузырьке и поверхностной энергии:

$$p_{\min} W_b = \sigma S_b, \quad (7)$$

С учетом (6) и (7) получим уравнение для определения D_{\max} :

$$D_{\max} = \sqrt[3]{k} D_0 \left(\frac{p_0 D_{\max}}{6\sigma} \right)^{\frac{1}{6\gamma}}. \quad (8)$$

Внешний диаметр капли в момент разрушения обозначим D_{end} . Учитывая условие равенства массы жидкости капли,

$$D_{end}^3 = D_0^3 + D_{\max}^3. \quad (9)$$

Можно предположить, что минимальный размер новых капель будет равен толщине слоя жидкости при разрушении кавитацион-

ного пузырька. Толщина водяного слоя в момент разрушения, а значит размер новых капель, составит $D_{drop} = (D_{end} - D_{\max}) / 2$. Или с учетом (9)

$$D_{drop} = \left(\sqrt[3]{D_0^3 + D_{\max}^3} - D_{\max} \right) / 2, \quad (10)$$

где D_{\max} определяется из уравнения (8).

На рисунке 4 приведена зависимость результирующих капель от начального диаметра капель (до разрушения) при разных значениях коэффициента k . Расчет сделан для воды при $p_0 = 0.1$ МПа. Чем меньше исходная капля, тем на более мелкие фрагменты она разрушится.

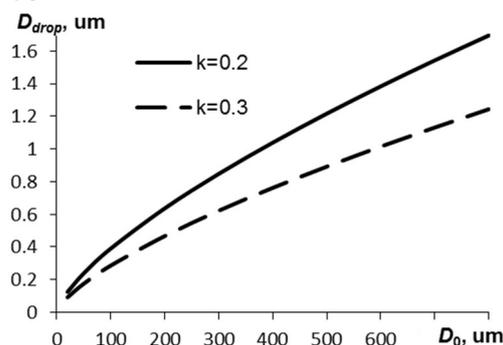


Рисунок 4 – Зависимость минимального диаметра новых капель воды, образующихся в результате кавитационного разрушения капель диаметром D_0 от исходного диаметра

Figure 4 - Dependence of the minimum diameter of new water droplets formed as a result of cavitation destruction of droplets with diameter D_0 on the initial diameter

3. Кавитационное разрушение струй.

Рассмотрим случай разрушения струи жидкости диаметра D_f , движущейся в мощном ультразвуковом поле. Пусть жидкость распыляют под давлением p_0 . При выполнении условия (1), где $D = D_f$, струя будет разрушаться по описанному в п. 1 прямому механизму, вплоть до величины капель D_{min} . Однако, если D_f больше некоторой критической величины, прямого разрушения не произойдет. Но возможен механизм кавитационного разрушения струи. Оценим размер капель в этом случае.

В струе, проходящей в ультразвуковом поле, генерируются акустические колебания, создающие условия для возникновения кавитации. В фазе разгрузки звуковой волны в жидкости возникает разрыв шириной Z , в котором накапливаются пары. Следующая затем фаза сжатия вызывает образование пузырька, заполненного парами жидкости. Величину Z получим известных соотношений для волновых процессов:

$$Z = \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{I}{W_l}}. \quad (11)$$

Поскольку кавитационный пузырек формируется на основе разрыва, в объеме струи можно выделить элементы, состоящие из пузырьков, окруженных жидкостью, причем, объем паров в пузырьке по отношению к объему жидкости будет выражаться коэффициентом кавитации k , рассмотренным выше. Каждый элемент, состоящий из пузырька и жидкости, будет представлять собой «мыльный пузырек», который разрушится в момент максимального расширения кавитационного пузырька. Максимальный диаметр пузырька перед разрушением:

$$D_{\max} = \frac{\sqrt[3]{k}}{\omega} \sqrt{\frac{I}{W_l}} \left(\frac{p_0 D_{\max}}{6\sigma} \right)^{\frac{1}{6\gamma}}. \quad (12)$$

Вместо уравнения (10) получим:

$$D_{\text{drop}} = \left(\sqrt[3]{Z^3 + D_{\max}^3} - D_{\max} \right) / 2. \quad (13)$$

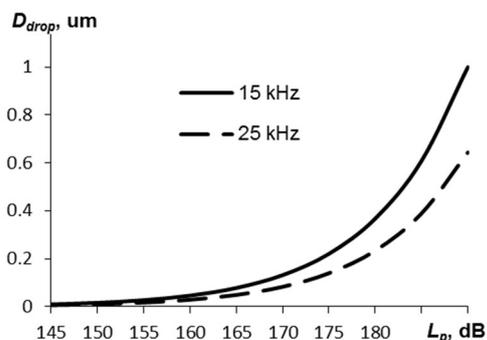


Рисунок 5 – Зависимость диаметра новых капель воды, образующихся при кавитационном разрушении струи, от уровня звука

Figure 5 - Dependence of the diameter of new water droplets formed during cavitation destruction of the jet on the sound level

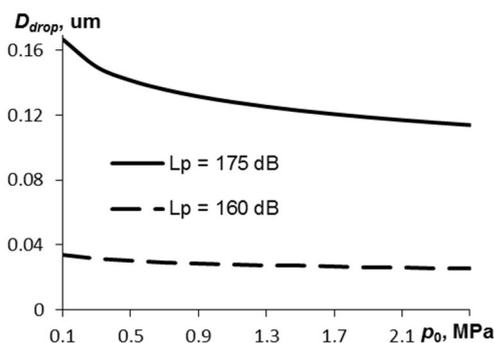


Рисунок 6 – Зависимость диаметра новых капель воды, образующихся при кавитационном разрушении струи, от гидростатического давления

Figure 6 - Dependence of the diameter of new water droplets formed during cavitation destruction of the jet on hydrostatic pressure

Совместное решение уравнений (11), (12) и (13) даст оценку минимального размера новых

капель в зависимости от характеристик ультразвукового воздействия и свойств жидкости.

На рисунке 5 приведена зависимость капель от гидростатического давления. Расчет сделан для воды, $k = 0.25$.

На рисунке 6 показана зависимость минимального размера капель от гидростатического давления.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В статье предложены два механизма разрушения капель и струй жидкости при попадании в мощное ультразвуковое поле – непосредственный и кавитационный.

Если размер капель не превышает некоторого критического (в наших оценках, около 150 мкм для уровня звука 160 дБ), то она может быть разрушена непосредственным воздействием фронта звуковой волны, когда она влетает в этот фронт. Минимальный размер результирующих капель при этом существенно и нелинейно зависит от уровня звука, падая с ростом уровня звука (рисунок 2) и с частотой (рисунок 3), и не зависит от размера исходной капли.

Если размер капли превышает критический размер для данного уровня звука, она может быть разрушена по кавитационному механизму. Возникает ультразвуковая кавитация внутри достаточно крупной капли, кавитационные пузырьки сливаются в один и расширяются. Капля при этом становится подобной мыльному пузырю. Когда достигается предел прочности стенки, зависящий от сил поверхностного натяжения, пузырек лопается на фрагменты с диаметром, порядка толщины стенки пузырька. Размер результирующих капель тем меньше, чем меньше был размер исходной капли и чем выше коэффициент кавитации (рисунок 4).

Разрушение струи по кавитационному механизму также возможно. При этом будет наблюдаться небольшое уменьшение размера капель с ростом давления распыления струи (рисунок 6).

При описании кавитационного механизма разрушения струй расчеты выявили контринтуитивное увеличение диаметра капель с ростом уровня звука (рисунок 5). Это объясняется тем, что величина кавитационного разрыва в сплошной среде струи с ростом уровня звука растет в соответствии со степенью $\frac{1}{2}$, растет и размер кавитационного элемента, то есть объем воды, несомый пузырьком. Значит, в соответствии с данной моделью размер капель также будет расти. Но рассматриваемый механизм будет работать только при превышении некоторого уровня

звука, когда устанавливается кавитационный режим в струе. Таким образом, если реализуется кавитационный механизм вторичного распыления струй, то с ростом уровня звука размер капель только увеличивается. Если требуется достичь минимального размера капель при кавитационном разрушении струи, следует воздействовать на нее с минимальным уровнем звука, при котором вообще возникает кавитация.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Распыление жидкости – важный для практики технологический процесс (особенно сложно получить у мелкодисперсного аэрозоля с высокой производительностью). Для этого предлагается использовать вторичное ультразвуковое распыление, которому подвергается поток относительно крупных капель или струя сплошной жидкости. Механизмы такого распыления до сих пор не изучены.

Мы предложили и рассмотрели модель вторичного разрушения капель и сплошных струй жидкости при их перемещении в ультразвуковом поле, предполагающую два возможных механизма разрушения – непосредственное разрушение при попадании жидкости на фронт акустической волны и кавитационный механизм. В зависимости от уровня звука и условий распыления может реализоваться тот или иной механизм разрушения капель и струй (при относительно более низких уровнях звука – кавитационный, при более высоких – непосредственный). Модель позволяет оценить минимальный размер капель при разрушении в зависимости от начального размера капель, свойств жидкости, гидростатического давления. Таким образом, созданы предпосылки для оптимизации процесса вторичного ультразвукового распыления жидкости.

Свободные параметры модели, требующие экспериментального определения, – предел прочности жидкости σ_{stp} , коэффициент кавитации k . В качестве развития модели можно рассмотреть зависимость этого коэффициента от параметров ультразвукового поля: чем больше интенсивность ультразвука, тем коэффициент кавитации будет больше. От частоты возможна более сложная зависимость.

Мы не рассматривали более медленные процессы коагуляции и испарения, которые могут проходить под действием мощного ультразвука. Эти процессы происходят более длительное время. С другой стороны, испарение мелких капель, которые образуются при вторичном распылении, происходит тем быстрее и проще, чем меньше размер капли.

А при высоких концентрациях таких капель нельзя пренебрегать их коагуляцией. Учет указанных процессов входит в планы развития предложенной модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Application of Ultrasonic Atomization on a Micro Jet Engine Using Biofuel for Improving Performance / A. Alajmi [и др.] // *Processes*. 2021. № 9. С. 1963. doi : 10.3390/pr9111963.
2. Recent advances in ultrasound-assisted synthesis of nano-emulsions and their industrial applications / P. Thakur [и др.] // *Current Pharmaceutical Biotechnology*. 2021. № 22(13). С. 1748–1758. doi : 10.2174/1389201021666201104150102.
3. Y. Wang, L. Ruan. Application of Ultrasonic Atomization in a Combined Circulation System of Spray Evaporative Cooling and Air Cooling for Electric Machine // *Processes*. 2021. № 9(10). С. 1773. doi : 10.3390/pr9101773.
4. A review of physical and chemical methods to improve the performance of water for dust reduction / Q. Zhan [и др.] // *Process Safety and Environmental Protection*. 2022. Т. 166. С. 86–98. doi : 10.1016/j.psep.2022.07.065.
5. Investigation on application of ultrasonic humidifier for air conditioning system / Putra I. [и др.] // *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing. 2020. № 1 (1450). С. 012050. doi : 10.1088/1742-6596/1450/1/012050.
6. A comprehensive review on ultrasonic spray pyrolysis technique: Mechanism, main parameters and applications in condensed matter / Ardekani S.R. [и др.] // *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 2019. Т. 141. С. 104631. doi : 10.1016/j.jaap.2019.104631.
7. K.C. Castro, J.M. Costa, M.G.N. Campos Drug-loaded polymeric nanoparticles: a review // *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*. 2022. № 1(71). С. 1–13. doi : 10.1080/00914037.2020.1798436.
8. P. Majerič, R. Rudolf. Advances in ultrasonic spray pyrolysis processing of noble metal nanoparticles // *Materials*. 2020. № 13(13). С. 3485. doi : 10.3390/ma13163485.
9. H. Naidu, O. Kahraman, H. Feng. Novel applications of ultrasonic atomization in the manufacturing of fine chemicals, pharmaceuticals, and medical devices // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2022. Т. 86. С. 105984. doi : 10.1016/j.ultsonch.2022.105984.
10. Ультразвук. Аппараты и технологии : монография / В.Н. Хмелев [и др.]. Бийск : Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2015. 687 с.
11. Разработка высокочастотных ультразвуковых колебательных систем для мелкодисперсного распыления жидкостей / В.Н. Хмелев [и др.] // *Ползуновский вестник*. 2010. № 3. С. 315–320.
12. Теоретическое выявление режимов воздействия, обеспечивающих формирование высокодисперсного аэрозоля при двухстадийном ультразвуковом распылении / Хмелёв В.Н. [и др.] // *Ползуновский вестник*. 2017. № 2. С. 99–104.
13. В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, Р.Н. Голых, В.А. Нестеров. Применение ультразвуковых колебаний для распыления жидкостей // *Ультразвук: проблемы, разработки, перспективы : материалы Международной научной конференции*. Уфа : Башкирский государственный университет, 2017. С. 80–82.
14. Л.Д. Розенберг. Физические основы ультразвуковой технологии. Москва : Наука, 1970. 688 с.
15. Ю.Я. Богуславский, О.К. Экнадиосян. О физическом механизме распыления жидкости акустическими колебаниями. *Акустический Журнал*. 1969. № 1(15). С. 17.
16. А.А. Богач, А.В. Уткин. Прочность воды при импульсном растяжении // *Прикладная механика и техническая физика*. 2000. № 4(41). С. 198–205.
17. В.К. Кедринский. Гидродинамика взрыва // *Прикладная механика и техническая физика*. 1987. № 4 (28). С. 23–48.
18. The role of cavitation in submicron aerosol dispersion /

Kudryashova O. [и др.] // MATEC Web of Conferences. EDP Sciences. 2018. Т. 243. С. 00003. doi : 10.1051/mateconf/201824300003.

Информация об авторах

О. Б. Кудряшова – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института проблем химико-энергетических технологий СО РАН.

А. В. Шалунов – доктор технических наук, заведующий кафедрой МСИА Бийского технологического института (филиала) АлтГТУ.

С. С. Титов – доктор технических наук, доцент кафедры МСИА Бийского технологического института (филиала) АлтГТУ.

Р. С. Доровских – кандидат технических наук, научный сотрудник Бийского технологического института (филиала) АлтГТУ.

REFERENCES

1. Alajmi, A., Alajmi, F., Alrashidi, A., Alrashidi, N. & Adam, N.M. (2021). Application of Ultrasonic Atomization on a Micro Jet Engine Using Biofuel for Improving Performance. *Processes*, 9(11), 1963. doi : 10.3390/pr9111963.
2. Thakur, P., Sonawane, S., Potoroko, I. & Sonawane, S.H. (2021). Recent advances in ultrasound-assisted synthesis of nano-emulsions and their industrial applications. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 22(13), 1748-1758. doi : 10.2174/1389201021666201104150102.
3. Wang, Y. & Ruan, L. (2021). Application of Ultrasonic Atomization in a Combined Circulation System of Spray Evaporative Cooling and Air Cooling for Electric Machines. *Processes*, 9(10), 1773. doi:10.3390/pr9101773.
4. Zhang, Q., Fan, L., Wang, H., Han, H., Zhu, Z., Zhao, X., & Wang, Y. (2022). A review of physical and chemical methods to improve the performance of water for dust reduction. *Process Safety and Environmental Protection*, 166, 86-98. doi : 10.1016/j.psep.2022.07.065.
5. Putra, I.D.G.A.T., Sunu, P.W., Temaja, I.W., Sugiarta, N., Sugina, I.M. & Suiyia, I.W. (2020, February). Investigation on application of ultrasonic humidifier for air conditioning system. In *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1450, No. 1, p. 012050. IOP Publishing. doi:10.1088/1742-6596/1450/1/012050.
6. Ardekani, S.R., Aghdam, A.S.R., Nazari, M., Bayat, A., Yazdani, E. & Saievar-Iranizad, E. (2019). A comprehensive review on ultrasonic spray pyrolysis technique: Mechanism, main parameters and applications in condensed matter. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 141, 104631. doi : 10.1016/j.jaap.2019.104631.
7. Castro, K.C.D., Costa, J.M. & Campos, M.G.N. (2022). Drug-loaded polymeric nanoparticles: a review. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 71(1), 1-13. doi : 10.1080/00914037.2020.1798436.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 8 декабря 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 06 мая 2024.

The article was received by the editorial board on 8 Dec 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 06 May 2024.

8. Majerič, P. & Rudolf, R. (2020). Advances in ultrasonic spray pyrolysis processing of noble metal nanoparticles. *Materials*, 13(16), 3485. doi : 10.3390/ma13163485.

9. Naidu, H., Kahraman, O. & Feng, H. (2022). Novel applications of ultrasonic atomization in the manufacturing of fine chemicals, pharmaceuticals, and medical devices. *Ultrasonics Sonochemistry*, 86, 105984. doi : 10.1016/j.ultsonch.2022.105984.

10. Khmelev, V.N., Shalunov, A.V., Khmelev, S.S. & Tsyganok, S.N. *Ultrason. Devices and technologies: monograph* (2015). Biysk : Alt Publishing House. state techn. un-ta. (In Russ.).

11. Khmelev, V.N., Shalunov, A.V., Khmelev, M.V., Khmelev, S.S., Genne, D.V., Barsukov, R.V. & Shalunova, A.V. (2010). Development of high-frequency ultrasonic oscillating systems for fine atomization of liquids. *Polzunovsky Bulletin*, (3), 315-320. (In Russ.).

12. Khmelev, V.N., Shalunov, A.V., Golykh, R.N., Dorovskikh, R.S. & Nesterov, V.A. (2017). Theoretical identification of exposure modes that ensure the formation of a highly dispersed aerosol during two-stage ultrasonic spraying. *Polzunovsky Bulletin*, (2), 99-104. (In Russ.).

13. Khmelev, V.N., Shalunov, A.V., Golykh, R.N. & Nesterov, V.A. (2017). Application of ultrasonic vibrations for atomizing liquids. *Proceedings of the international scientific conference. Ultrasound: problems, developments, prospects*. Ufa : Bashkir State University. (pp. 80-82). (In Russ.).

14. Rosenberg, L.D. (Ed.). (1970). *Physical foundations of ultrasonic technology*. Moscow : Nauka. (In Russ.).

15. Boguslavsky, Y.Y. & Eknadiosyans, O.K. (1969). On the physical mechanism of liquid atomization by acoustic vibrations. *Acoustic Journal*, 1(15), 17. (In Russ.).

16. Bogach, A.A. & Utkin, A.V. (2000). Strength of water under pulsed tension. *Applied Mechanics and Engineering Physics*, 41(4), 198-205. (In Russ.).

17. Kedrinsky, V.K. (1987). Hydrodynamics of explosion. *Applied mechanics and technical physics*, 28(4), 23-48.

18. Kudryashova, O., Muraviev, E., Vorozhtsov, B. & Akhmadeev, I. (2018). The role of cavitation in submicron aerosol dispersion. In *MATEC. Web of Conferences* (Vol. 243, p. 00003). EDP Sciences. doi 10.1051/mateconf/201824300003.

Information about the authors

O.B. Kudryashova - Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher at the Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies SB RAS.

A.V. Shalunov - Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of MIMA, Biysk Technological Institute of Altai State Technical University.

S.S. Titov - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of MSIA, Biysk Technological Institute of Altai State Technical University.

R.S. Dorovskikh - Candidate of Technical Sciences, researcher at the Biysk Technological Institute of Altai State Technical University.



Научная статья

2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)
УДК 669.71.002.68

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.027



УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СИНТЕЗА ИСКУССТВЕННОГО ФЛЮОРИТА И РАСТВОРА КАУСТИЧЕСКОЙ СОДЫ ИЗ ОТХОДОВ И ПРОМПРОДУКТОВ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Борис Петрович Куликов¹, Наталья Валерьевна Васюнина²,
Ирина Владимировна Дубова³, Александр Сергеевич Самойло⁴,
Руслан Олегович Баланев⁵, Александр Иннокентьевич Безруких⁶,
Юрий Викторович Байковский⁷, Николай Сергеевич Домбровский⁸

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ФГАОУ ВО Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

¹ Kulikov-Boris@yandex.ru

² nvasyunina@sfu-kras.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4334-3914>

³ idubova@sfu-kras.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3910-7513>

⁴ asamoylo@sfu-kras.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8447-6465>

⁵ rbalanev@sfu-kras.ru, <https://orcid.org/0009-0008-7355-2830>

⁶ decibeel@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0448-9793>

⁷ baykovskiy98@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5571-3129>

⁸ dns0802@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-5075-726X>

Аннотация. В статье изложены результаты экспериментальных исследований по поиску оптимальных условий синтеза искусственного флюорита и раствора каустической соды из фторсодержащих отходов и промпродуктов алюминиевого производства методом каустификации. В основу метода положена конверсия фторалюминатов натрия в CaF_2 и NaOH в результате обработки отходов и промпродуктов алюминиевого производства известковым молоком. Установлена эмпирическая зависимость оптимального отношения $\text{Ж} : \text{Т}$ в реакционной смеси от концентрации фтора и молярного отношения $\text{NaF} : \text{AlF}_3$ в отходах и промпродуктах. Для получения раствора каустической соды без примеси алюмината натрия предложено вводить в реакционную смесь избыток извести для связывания образующегося $\text{Al}(\text{OH})_3$ в нерастворимый катоит $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{OH})_{12}$. Количество вводимой активной извести прямо пропорционально концентрации фтора в отходах и промпродуктах, связанного в NaF и AlF_3 , и концентрации алюминия в отходах и промпродуктах, связанного в AlF_3 .

Ключевые слова: отходы и промпродукты алюминиевого производства, каустификация, известковое молоко, искусственный флюорит, алюминатный раствор, каустическая сода.

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания на науку ФГАОУ ВО «Сибирский Федеральный университет», номер проекта FSRZ-2023-0009.

Для цитирования: Усовершенствование технологии синтеза искусственного флюорита и раствора каустической соды из отходов и промпродуктов алюминиевого производства / Б. П. Куликов [и др.] // Ползуновский вестник. 2024. № 2, С. 208–216. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.027. EDN: <https://elibrary.ru/TUQJHY>.

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY FOR SYNTHESIS OF ARTIFICIAL FLUORITE AND CAUSTIC SODA SOLUTION FROM WASTE AND MIDDINGS OF ALUMINUM PRODUCTION

Boris P. Kulikov¹, Natalia V. Vasyunina², Irina V. Dubova³,
Alexandr S. Samoilo⁴, Ruslan O. Balanev⁵, Alexandr I. Bezrukikh⁶,
Yuriy V. Baykovskiy⁷, Nikolay S. Dombrovskiy⁸

^{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7} Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

¹ Kulikov-Boris@yandex.ru

² nvasyunina@sfu-kras.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4334-3914>

³ idubova@sfu-kras.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3910-7513>

⁴ asamoylo@sfu-kras.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8447-6465>

⁵ rbalanev@sfu-kras.ru, <https://orcid.org/0009-0008-7355-2830>

⁶ decibeel@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0448-9793>

⁷ baykovskiy98@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5571-3129>

⁸ dns0802@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-5075-726X>

Abstract. The article presents the results of experimental studies on the search for optimal conditions for the synthesis of artificial fluorite and a solution of caustic soda from fluorine-containing waste and middlings of aluminum production by the causticization method. The method is based on the conversion of sodium fluoroaluminates to CaF_2 and NaOH as a result of the treatment of waste and middlings of aluminum production with lime milk. The empirical dependence of the optimal ratio $L : S$ in the reaction mixture on the concentration of fluorine and the molar ratio of $\text{NaF} : \text{AlF}_3$ in waste and middlings has been established. To obtain a solution of caustic soda without sodium aluminate impurities, it was proposed to introduce an excess of lime into the reaction mixture to bind the resulting $\text{Al}(\text{OH})_3$ to the insoluble $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{OH})_{12}$ cathoite. The amount of active lime introduced is directly proportional to the concentration of fluorine in the waste and middlings, bound in NaF and AlF_3 , and the concentration of aluminum in the waste and middlings, bound in AlF_3 .

Keywords: waste and middlings of aluminum production, causticization, milk of lime, artificial fluorite, aluminate solution, caustic soda.

Acknowledgements: The work was carried out within the framework of the state assignment for science of the Siberian Federal University, project number FSRZ-2023-0009.

For citation: Kulikov, B.P., Vasyunina, N.V., Dubova, I.V., Samoilo, A.S., Balanev, R.O., Bezrukikh, A.I. & Baykovskiy, Yu.V. (2024). Improvement of the technology for the synthesis of artificial fluorite and caustic soda solution from waste and middlings of aluminum production. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 208-216. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.02.027. EDN: <https://TUQJHY>.

ВВЕДЕНИЕ

Специфика производства алюминия в электролизерах с самообжигающимися анодами (анодами Содерберга) характеризуется образованием несколько видов натрий-фтор-углеродсодержащих отходов. К наиболее масштабным из них относятся:

- пыль электрофильтров (ПЭФ);
- шлам газоочистки (ШГО);
- хвосты флотации угольной пены (ХФУП);
- отработанная угольная футеровка (ОУФ).

Несмотря на то, что перечисленные отходы официально позиционируются 3-м и 4-м классами опасности (умеренно опасные и малоопасные), в них содержатся соединения 1-го класса опасности – чрезвычайно опасные

(бенз(а)пирен и другие полициклические ароматические углеводороды) и 2-го класса опасности – высоко опасные (фтористые соли). Мелкодисперсные натрий-фтор-углеродсодержащие отходы (ПЭФ, ШГО, ХФУП) размещают на шламовых полях алюминиевых заводов, а кусковые отходы (ОУФ) – на полигонах промышленных отходов. Накопление гигантских объемов токсичных отходов делает актуальным разработку способов их переработки и утилизации. В научной и патентной литературе описаны тысячи технических решений по переработке твердых отходов алюминиевого производства [1–6]. Причем часть этих решений подкреплены положительными результатами опытно-промышленных испытаний. Несмотря на наличие колоссальной

научной и экспериментальной базы, за годы существования отечественной алюминиевой промышленности отмечено лишь несколько положительных примеров крупномасштабной переработки отходов алюминиевого производства. Основным фактором, сдерживающим внедрение природоохранных и ресурсосберегающих разработок в России, является слабое природоохранное законодательство и отсутствие объективного контроля над деятельностью промышленных предприятий.

Несмотря на это, в научных кругах продолжают работы по созданию новых, оригинальных решений, направленных на снижение экологической опасности алюминиевого производства. Одно из таких направлений – получение искусственного флюорита из отходов различных производств [7–9].

Еще одним перспективным направлением получения искусственного флюорита для нужд цементной промышленности или черной металлургии является технология каустификации натрий-фтор-углеродсодержащих отходов [10–12]. Каустификация предусматривает обработку натрий-фтор-углеродсодержащих отходов известковым молоком при повышенной температуре, перемешивании реакцион-

ной смеси и при определенном весовом отношении жидких и твердых реагентов. Известковое молоко представляет водную суспензию твердого гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с небольшим количеством растворенной извести (0,13–0,17 г $\text{Ca}(\text{OH})_2$ /100 г H_2O). Натрий-фтор-содержащие соединения в отходах представлены, в основном, фторалюминатами натрия: криолитом Na_3AlF_6 и хиолитом $\text{Na}_5\text{Al}_3\text{F}_{14}$. Метод каустификации может быть применен не только к отходам, но и к фторсодержащим промпродуктам алюминиевого производства. К последним относятся электролитная угольная пена, оборотный электролит и вторичный криолит.

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЕСОВОГО ОТНОШЕНИЯ Ж : Т ПРИ КАУСТИФИКАЦИИ ОТХОДОВ И ПРОМПРОДУКТОВ АЛЮМИНЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА

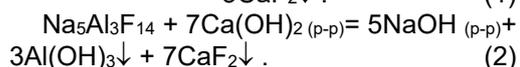
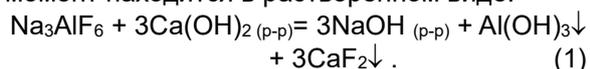
Основные виды отходов и промпродуктов алюминиевого производства существенно отличаются по содержанию фтора. В таблице 1 показаны пределы изменения концентрации фтора в натрий-фтор-углеродсодержащих отходах и промпродуктах.

Таблица 1 – Содержание фтора в отходах и промпродуктах алюминиевого производства

Table 1 - Fluorine content in waste and industrial products of aluminum production

№	Отходы и промпродукты	Содержание фтора, % вес.
1	ПЭФ	19–27
2	ШГО	22–30
3	ХФУП	6–11
4	ОУФ	6–15
5	Отходы со шламового поля	11–22
6	Угольная пена	28–36
7	Вторичный криолит	43–48
8	Оборотный электролит	52–55

При каустификации во взаимодействие с фторалюминатами натрия, содержащимися в отходах и промпродуктах, вступает небольшое количество $\text{Ca}(\text{OH})_2$, которое в данный момент находится в растворенном виде:



По мере расходования $\text{Ca}(\text{OH})_2$, находящегося в растворе, растворяются новые порции $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и вступают во взаимодействие с криолитом и хиолитом. Таким образом, происходит постепенное растворение твердого $\text{Ca}(\text{OH})_2$, взаимодействие его с фторалюминатами натрия с образованием продуктов реакции: CaF_2 , $\text{Al}(\text{OH})_3$ и NaOH . В результате в

реакционном растворе возрастает концентрация NaOH . Повышение щелочности раствора за счет наработки NaOH снижает растворимость $\text{Ca}(\text{OH})_2$, тем самым замедляет скорость химических реакций (1, 2). При высокой концентрации в растворе NaOH растворение $\text{Ca}(\text{OH})_2$ может полностью прекратиться. Следовательно, приостановятся и реакции (1, 2).

Таким образом, концентрация NaOH в продуктах взаимодействия является фактором, влияющим на скорость и глубину взаимодействия фторалюминатов натрия с гидроксидом кальция.

В свою очередь, концентрация NaOH в растворе зависит от содержания натрия и фтора в отходах и промпродуктах, а также от

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СИНТЕЗА ИСКУССТВЕННОГО ФЛЮОРИТА И РАСТВОРА КАУСТИЧЕСКОЙ СОДЫ ИЗ ОТХОДОВ И ПРОМПРОДУКТОВ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА

весового отношения жидкого к твердому (Ж : Т) в реакционной смеси. Отношение Ж : Т при обработке отходов и промпродуктов известковым молоком непостоянно, т. к. количество жидких и твердых реагентов в результате взаимодействия непрерывно меняется. При этом количество твердого в продуктах снижается, а раствора – увеличивается (см. реакции 1, 2). По окончании взаимодействия, за счет перехода в раствор каустической щелочи, вес твердых продуктов, по сравнению с весом исходных твердых реагентов, снижается: для реакции 1 – на ~28 %, для реакции 2 – на ~20 %. В реакционной смеси, где наряду с фторалюминатами натрия присутствуют другие компоненты (углерод, оксид алюминия и др.), количество твердых продуктов в ходе реакции также снижается, но в меньшей степени, пропорционально содержанию фтора в отходах.

Чем больше содержание фтора в отходах и промпродуктах, тем больше должно быть отношение Ж : Т в реакционной смеси, чтобы не допустить чрезмерного повышения концентрации NaOH в растворе и замедления скорости взаимодействия реагентов. При низкой концентрации фтора в отходах (6–10 %) нецелесообразно вводить в процесс большое количество воды. Это приведет к непроизводительному расходу воды, энергоносителей на нагрев реакционной смеси и получению низкоконцентрированного раствора щелочи.

При переработке отходов и промпродуктов с высоким содержанием фторалюминатов натрия и невысоким отношением Ж : Т увеличивается продолжительность взаимодействия за счет замедления скорости каустификации. В некоторых случаях при высокой концентрации NaOH в жидких продуктах взаимодействие может пройти не полностью, и в твердых продуктах останутся непрореагировавшие фторалюминаты натрия.

Экспериментальным путем установлена зависимость отношения Ж : Т в реакционной смеси:

$$\text{Ж:Т} = [1 + (\text{М.О.} - 2,4) \cdot 4,8] \times [-0,0028 \times F^2 + 0,3074 \times F + 0,2229], \quad (3)$$

где Ж : Т – весовое отношение жидкого к твердому, Т = 1;

М.О. – молярное отношение NaF : AlF₃ в отходах;

F – концентрация фтора в отходах, % вес.

Зависимость (3) устанавливает начальное отношение Ж : Т в реакционной смеси. За твердое в реакционной смеси принимают суммарный вес отходов и стехиометрический, на образование CaF₂ – вес Ca(OH)₂, без учета избытка Ca(OH)₂ и веса примесей в извести.

На практике известьсодержащее сырье содержит от 5 до 20 % примесей, которые не оказывают влияние на концентрацию NaOH в жидких продуктах. Весовое отношение Ж : Т в реакционной смеси устанавливают только на момент начала взаимодействия.

Молярное отношение NaF : AlF₃ во фторалюминатах натрия зависит от вида отходов и изменяется от 2,4 до 3,0. В частности, М.О. фторалюминатов натрия в ПЭФ и ХФУП изменяется в пределах 2,40–2,55. ШГО содержит только криолит, поэтому его М.О. = 3,0.

На рисунке 1 зависимость (3) представлена графически для М.О. = 2,4 (синяя линия) и М.О. = 3,0 (красная линия). Для всех отходов и промпродуктов оптимальное отношение Ж : Т находится в области, ограниченной этими кривыми.

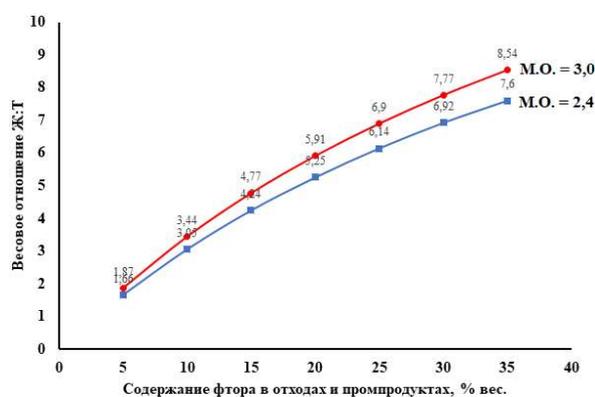


Рисунок 1 – Отношение Ж : Т в реакционной смеси, в зависимости от концентрации фтора в отходах и молярного отношения NaF : AlF₃

Figure 1 - The ratio of L : S in the reaction mixture, depending on the concentration of fluorine in the waste and the molar ratio of NaF : AlF₃

В качестве примера приведем описание эксперимента по каустификации пыли электрофильтров (ПЭФ) в лабораторных условиях. Приготовили 2 пробы ПЭФ по 50 г каждая. Состав ПЭФ в обеих пробах одинаков: содержание фтора = 24,5 %; молярное отношение NaF : AlF₃ = 2,46. Провели два опыта по обработке ПЭФ гидроксидом кальция в водном растворе при перемешивании. Количество добавляемого активного Ca(OH)₂ в опытах составило 23,86 г. Температура реакционной смеси 70 °С, продолжительность обработки 40 мин. Для первой пробы начальное весовое отношение Ж : Т, рассчитанное по формуле (3), составило 6,15 : 1. Для второй пробы начальное весовое отношение Ж : Т установили равным 4 : 1.

В таблицах 2, 3 приведены результаты экспериментов.

Таблица 2 – Характеристика твердых и жидких продуктов каустификации ПЭФ
Table 2 - Characteristics of solid and liquid DEF caustification products

Показатели, размерность	Опыт 1	Опыт 2
Вес твердого продукта, г	63,71	65,11
Вес раствора, г	468,25	307,0
Плотность раствора, г/см ³	1,03	1,03
Объем раствора, см ³	454,6	298,0
Концентрация Na ₂ O в растворе, г/дм ³	19,9	27,1

Таблица 3 – Состав твердых продуктов каустификации ПЭФ
Table 3 - Composition of solid DEF caustification products

Формула	Соединения	Содержание соединений, % вес.	
		Опыт 1	Опыт 2
C	Graphite	27,9	27,2
CaF ₂	Fluorite	39,5	34,9
Al ₂ O ₃	Corundum	19,4	18,9
Ca(OH) ₂	Portlandite	1,22	2,65
Ca ₃ Al ₂ (OH) ₁₂	Katoite	2,24	6,90
Al(OH) ₃	Nordstrandite	8,16	4,12
Na ₃ AlF ₆	Cryolite	–	3,35
Прочие		1,58	1,98

Из полученных результатов следует, что в опыте 2 (начальное отношение Ж : Т = 4 : 1) высокая концентрация Na₂O в реакционном растворе (27,1 г/дм³) замедлила скорость химической реакции, в результате чего часть криолита в отходах до конца не прореагировала. Снижение весового отношения Ж : Т = 6,15 : 1, рассчитанного по формуле (3), до 4 : 1 увеличивает продолжительность взаимодействия реагентов.

Полученная экспериментальным путем зависимость (3) оптимизирует каустификацию фторалюминатов натрия гидроксидом кальция. Оптимизация заключается в гарантированном обеспечении полноты протекания процесса, в использовании минимально необходимого и достаточного количества воды, в стабилизации концентрации Na₂O в жидких продуктах, снижении расхода теплоносителей на нагрев реакционной смеси.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ РАСТВОРА КАУСТИЧЕСКОЙ СОДЫ

При обработке фторсодержащих отходов и промпродуктов известковым молоком установлено, что в растворе, отделенном от твердых продуктов каустификации, концентрация Na₂O_{общ.}, как правило, больше Na₂O_{кауст.}. На графике (рисунок 2) показано изменение концентраций CaF₂ в твердом продукте, Na₂O_{общ.} и Na₂O_{кауст.} в растворе при обработке криолита (Na₃AlF₆) известковым молоком при

температуре реакционной смеси 40 °С и отношении Ж : Т = 10,5 : 1.

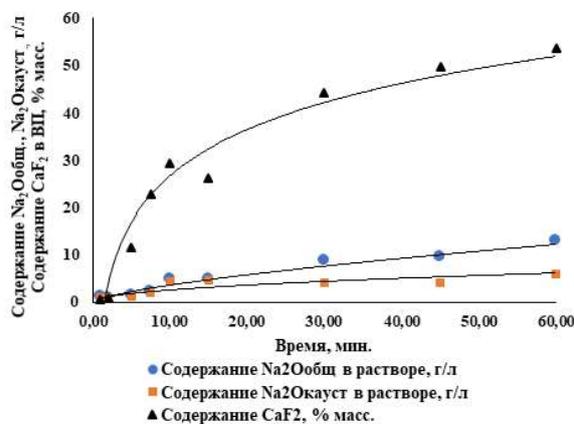


Рисунок 2 – Изменение концентраций CaF₂, Na₂O_{общ.} и Na₂O_{кауст.} при каустификации криолита

Figure 2 - Changes in concentrations of CaF₂, Na₂O_{gen.} and Na₂O_{caust.} in the caustification of cryolite

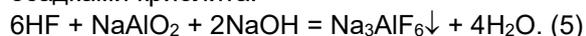
Экспериментальные данные указывают на то, что часть Na₂O в растворе связано с Al₂O₃ в алюминат натрия NaAlO₂. Это обстоятельство позволяет предположить, что образующийся по реакциям (1, 2) высокоактивный гидроксид алюминия Al(OH)₃ взаимодействует с гидроксидом натрия (NaOH) с образованием алюминатного раствора (реакция 4).



Таким образом, получаемый при каусти-

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СИНТЕЗА ИСКУССТВЕННОГО ФЛЮОРИТА
И РАСТВОРА КАУСТИЧЕСКОЙ СОДЫ ИЗ ОТХОДОВ И ПРОМПРОДУКТОВ
АЛЮМИНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА

фикации отходов и промпродуктов раствор наряду с NaOH содержит некоторое количество алюминатного раствора. Присутствие NaAlO₂ в растворе каустической соды ограничивает использование раствора на «мокрой» газоочистке алюминиевых заводов. Absорбция электролизных газов, содержащих фтористый водород, смесью каустического и алюминатного растворов приведет к кристаллизации криолита в установках «мокрой» газоочистки (реакция 5). Следствием этого будут потери фтористых солей со шламами газоочистки и зарастание растворопроводов осадками криолита.



Для предотвращения образования алюминатного раствора предложено вводить в реакционную смесь дополнительное количество извести. Избыток извести связывает образующийся гидроксид алюминия в нерастворимое соединение катоит $3Ca(OH)_2 \cdot 2Al(OH)_3$:

$$2Na_3AlF_6 + 9Ca(OH)_2 = 6NaOH + 3Ca(OH)_2 \cdot 2Al(OH)_3 \downarrow + 6CaF_2 \downarrow \quad (6)$$

В результате получаем раствор каустической щелочи без алюмината натрия, а твердые продукты каустификации обогащаются гидроксидами кальция и алюминия.

В ходе экспериментов получена эмпирическая зависимость оптимальной дозировки активной извести $Ca(OH)_2$ для обработки натрий-фтор-углеродсодержащих отходов электролитического производства алюминия:

$Ca(OH)_2 = (1 \pm 0,02) \times [1,95 \times F + 4,11 \times Al]$, (7)
где $Ca(OH)_2$ – количество активной извести (% вес.), добавляемой к 100 % отходов;

F – концентрация фтора в отходах, связанного в NaF и AlF₃, % вес.;

Al – концентрация алюминия в отходах, связанного в AlF₃, % вес.;

(1±0,02) – доверительный интервал, в который с надежностью 95 % укладываются результаты экспериментов.

Эмпирическая зависимость (7) справедлива не только для отходов, но и для обработки известковым молоком промпродуктов алюминиевого производства: электролитной угольной пены, оборотного электролита, вторичного криолита.

Электролитная угольная пена содержит 30–35 % фтора и примерно столько же углерода. В настоящее время угольная пена не комплексно перерабатывается методом флотационного обогащения с получением флотационного криолита и отхода – углеродсодержащих хвостов флотации. Переработка

угольной пены методом каустификации безотходная. Углерод, содержащийся в продуктах каустификации, будет выполнять функцию выгорающей добавки при спекании клинкера [13].

Оборотный электролит нарабатывается в электролизерах для получения алюминия, вследствие чего его вынуждены периодически сливать. Причина образования оборотного электролита обусловлена избытком натрия, поступающего в электролит с глиноземом, и необходимостью поддержания определенного криолитового отношения электролита (молярное отношение NaF : AlF₃), равного 2,2–2,4. Натрий, поступающий с глиноземом, увеличивает криолитовое отношение электролита. Поэтому часть электролита из электролизера периодически сливают и корректируют криолитовое отношение электролита добавкой фторида алюминия. Оборотный электролит содержит 52–55 % фтора. При обработке его известковым молоком получают искусственный флюорит с высокой концентрацией CaF₂.

Вторичным криолитом называют флотационный, регенерационный криолит или их механическую смесь. Содержание фтора во вторичном криолите 43–48 % вес. Криолитовое отношение флотационного криолита составляет 2,4–2,55, регенерационного ~ 3,0. Снижение криолитового отношения электролита в алюминиевых электролизерах привело к изменению баланса в структуре потребления фтористых солей. В результате вторичный криолит оказался ограниченно востребованным. Возврат в электролиз вторичного криолита в новых условиях является вынужденной мерой, поскольку его образование вызвано наличием самого процесса электролиза. Переработка вторичного криолита методом каустификации уменьшит щелочную нагрузку на электролит, обеспечит получение искусственного флюорита для черной металлургии и цементной промышленности [13, 14].

Экспериментальная проверка эмпирической зависимости (7) показана на примере лабораторных опытов по каустификации хвостов флотации угольной пены, электролитной угольной пены и оборотного электролита. Перечисленные отходы и промпродукты алюминиевого производства по 100 г каждого обрабатывали известковым молоком при повышенной температуре и перемешивании. Содержание основных соединений и элементов в отходах и промпродуктах приведено в таблицах 4, 5.

Таблица 4 – Состав отходов и промпродуктов алюминиевого производства, % вес

Table 4 - Composition of waste and industrial products of aluminum production, % weight

Отходы, промпродукты	Na ₃ AlF ₆	Na ₅ Al ₃ F ₁₄	Al ₂ O ₃	CaF ₂	C	Прочие
Хвосты флотации	14,5	1,57	1,27	0,23	80,6	1,83
Угольная пена	46,1	12,1	9,29	0,15	26,3	6,06
Оборотный электролит	57,32	33,64	3,08	5,54	0,12	0,30

Таблица 5 – Концентрация фтора и алюминия в отходах и промпродуктах алюминиевого производства, % вес

Table 5 - Concentration of fluorine and aluminum in waste and industrial products of aluminum production, % weight

Отходы, промпродукты	Содержание F, связанного с NaF и AlF ₃	Содержание Al, связанного с AlF ₃
Хвосты флотации	8,77	2,14
Угольная пена	32,00	8,05
Оборотный электролит	50,49	13,27

Условия обработки отходов и промпродуктов известковым молоком приведены в таблице 6. Весовое отношение Ж : Т для отходов и промпродуктов выбрано с целью по-

лучить раствор каустической соды с близкой концентрацией NaOH. Количество активной Ca(OH)₂ (% вес.) рассчитано по формуле (7).

Таблица 6 – Параметры каустификации отходов и промпродуктов алюминиевого производства

Table 6 - Parameters of caustification of waste and industrial products of aluminum production

Отходы, промпродукты	Отношение Ж : Т	Кол-во акт. Ca(OH) ₂ , % вес.	Температура, °C	Продолжит. обработки, мин.
Хвосты флотации	3,5 : 1	25,9±0,52	60±3	50
Угольная пена	7 : 1	95,5±1,90		
Оборотный электролит	9 : 1	153,0±3,06		

Содержание основных соединений в твердых и жидких продуктах каустификации

отходов и промпродуктов алюминиевого производства приведено в таблицах 7, 8.

Таблица 7 – Фазовый состав продуктов каустификации отходов и промпродуктов алюминиевого производства, % вес

Table 7 - Phase composition of caustic products of waste and industrial products of aluminum production, % weight

Соединения	Твердые продукты каустификации		
	хвостов флотации	угольной пены	оборотного эл-та
CaF ₂	15,4	39,9	52,1
Al ₂ O ₃	1,08	5,47	1,5
Ca(OH) ₂	0,40	0,55	0,27
MgO	0,26	0,15	0,10
Ca ₃ Al ₂ (OH) ₁₂	12,8	34,1	44,18
Al(OH) ₃	–	1,05	0,41
C	68,9	16,1	–
CaCO ₃	–	0,44	0,32
Прочие	1,16	2,24	1,12

Таблица 8 – Концентрация Na₂O в растворах, полученных при обработке отходов и промпродуктов известковым молоком, г/дм³

Table 8 - Concentration of Na₂O in solutions obtained during the treatment of waste and industrial products with lime milk, g/dm³

Соединения	Концентрация раствора, полученного каустификацией		
	хвостов флотации	угольной пены	оборотного эл-та
Na ₂ O _{общ.}	14,2±0,3	16,2±0,4	14,4±0,3
Na ₂ O _{кауст.}	13,95±0,3	16,0±0,35	14,3±0,3

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СИНТЕЗА ИСКУССТВЕННОГО ФЛЮОРИТА И РАСТВОРА КАУСТИЧЕСКОЙ СОДЫ ИЗ ОТХОДОВ И ПРОМПРОДУКТОВ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ экспериментальных данных указывает на то, что получаемый при каустификации отходов и промпродуктов раствор содержит каустическую соду и не содержит алюмината натрия.

При промышленной реализации предлагаемого технического решения будут достигнуты следующие положительные результаты:

1. Расширится сырьевая база для получения искусственного флюорита и газоочистных растворов на основе каустической соды благодаря вовлечению в переработку фторсодержащих промпродуктов алюминиевого производства.

2. Увеличивается выход твердых продуктов каустификации и количество фторида кальция в них.

3. Получаемый раствор может использоваться для абсорбции газообразных соединений фтора и серы на алюминиевых заводах и других предприятиях, а также для получения концентрированного раствора NaOH, поскольку содержит каустическую соду без примеси алюмината натрия.

Разработанные технические решения по оптимизации весового отношения Ж : Т в реакционной смеси и получению раствора каустической соды при каустификации отходов и промпродуктов алюминиевого производства защищены патентами РФ № 2814124 и № 2816485.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сторожев Ю.И., Злобин В.С. Перспективные решения экологических проблем алюминиевых заводов // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. № 12. С. 10–13. DOI : 10.18412/1816-0395-2018-12-10-13.

2. Бараускас А.Э., Немчинова Н.В. Гидрометаллургическая переработка мелкодисперсного фторуглеродсодержащего техногенного сырья производства первичного алюминия. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24. № 6. С. 1311–1323. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2020-6-1311-1323>.

3. Nikanorov A.V. Improvement of the Technology of Fluorine Recovery from Solid Waste of Primary Aluminum Production // Materials Science Forum. Trans Tech Publications Ltd, 2022. Т. 1052. С. 493–497. DOI : 10.4028/p-7p174d.

4. Кондратьев В.В. [и др.]. Угольная пена алюминиевых электролизеров и углеродные нанотрубки (УНТ) в ней // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 12 (107). С. 215–222.

5. Кузьмин М.П. [и др.]. The use of carbon-containing wastes of aluminum production in ferrous metallurgy // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 20 Nemchinova N.V. [et al.]. Optimizing the charge pelletizing parameters for sili-

con smelting based on technogenic materials // Metallurgist. 2019. Т. 63. С. 115–122.20. Т. 63. № 10. С. 836–841. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2020-10-836-841>.

6. Dahhou M. [et al.]. Synthesis and characterization of belite clinker by sustainable utilization of alumina sludge and natural fluorite (CaF₂) // Materialia. 2021. Т. 20. С. 101204. DOI : 10.1016/j.mtla.2021.101204.

7. Авторское свидетельство № 1747385 А1 СССР, МПК С01F 7/54, С01F 11/22. Способ получения фторида кальция : № 4842926 : заявл. 25.06.1990 : опубл. 15.07.1992 / С.П. Истомина, Т.П. Антипина; заявитель Иркутский филиал всесоюзного научно-исследовательского и проектного института алюминиевой, магниевой и электродной промышленности. EDN VGTYDJ.

8. Патент № 2029731 С1 Российская Федерация, МПК С01F 11/22. Способ получения фторида кальция : № 5051265/26 : заявл. 06.07.1992 : опубл. 27.02.1995 / В.Ф. Болелый ; заявитель Научно-исследовательский и проектный институт химической промышленности. EDNJJRTXH.

9. Патент № 2312815 С2 Российская Федерация, МПК С01F 7/38, С22В 7/00. способ переработки алюминийсодержащего сырья : № 2006101009/15 : заявл. 10.01.2006 : опубл. 20.12.2007 / Г.П. Медведев, Р.Я. Дашкевич, Б.П. Куликов, В.И. Аникеев. EDN OGRMZS.

10. Endzhievskaya I.G., Demina A.V., Lavorenko A.A. Synthesis of a mineralizing agent for Portland cement from aluminum production waste // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2020. Т. 945. № 1. С. 012062. DOI: 10.1088/1757-899X/945/1/012062.

11. Куликов Б.П., Вертопрахова Л.А., Пигарев М.Н. Утилизация отходов со шламовых полей алюминиевых заводов в производстве цемента // Цветные металлы. 2006. № 3. С. 46–51.

12. Куликов Б.П. [и др.]. Получение клинкера с использованием минерализатора на основе фторсодержащих отходов // Цемент и его применение. 2010. № 2. С. 102–105.

13. Куликов Б.П. [и др.]. Утилизация фторсодержащих отходов алюминиевого производства в цементной промышленности // Экология и промышленность России. 2010. № 5. С. 4–6.

14. Brial V. [et al.]. Effect of fluorite addition on the reactivity of a calcined treated spent pot lining in cementitious materials // CEMENT. 2023. Т. 12. С. 100070. DOI : 10.1016/j.cement.2023.100070.

Информация об авторах

Б. П. Куликов – доктор химических наук, ведущий научный сотрудник института цветных металлов Сибирского федерального университета.

Н. В. Васюнина – кандидат технических наук, доцент кафедры «Металлургия цветных металлов» Сибирского федерального университета.

И. В. Дубова – кандидат технических наук, доцент кафедры «Фундаментальное естественнонаучное образование» Сибирского федерального университета.

Б. П. КУЛИКОВ, Н. В. ВАСЮНИНА, И. В. ДУБОВА, А. С. САМОЙЛО, Р. О. БАЛАНЕВ,
А. И. БЕЗРУКИХ, Ю. В. БАЙКОВСКИЙ, Н. С. ДОМБРОВСКИЙ

А. С. Самойло – инженер-исследователь
FSRZ-2023-0009, Офис развития научной деятельности
Сибирского федерального университета.

Р. О. Баланев – ведущий инженер кафедры
«Техносферная безопасность горного и металлургического производства» Сибирского федерального
университета.

А. И. Безруких – кандидат технических наук,
доцент кафедры «Общая металлургия» Сибирского
федерального университета.

Ю. В. Байковский – инженер-исследователь
лаборатории физико-химии металлургических процессов
и материалов Сибирского федерального
университета.

Н. С. Домбровский – магистрант кафедры
«Общая металлургия» Сибирского федерального
университета.

REFERENCES

1. Storozhev, Yu.I. & Zlobin, V.S. (2018). Promising solutions to environmental problems of aluminum plants. Ecology and industry of Russia. 22(12). 10-13. (In Russ.). DOI : 10.18412/1816-0395-2018-12-10-13.
2. Barauskas, A.E. & Nemchinova, N.V. (2020). Hydrometallurgical processing of finely dispersed fluorocarbon-containing technogenic raw materials for the production of primary aluminum. Bulletin of Irkutsk State Technical University. 24(6). 1311-1323. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2020-6-1311-1323>. (In Russ.).
3. Nikanorov, A.V. (2022). Improvement of the Technology of Fluorine Recovery from Solid Waste of Primary Aluminum Production. Materials Science Forum. Trans Tech Publications Ltd. 1052. 493-497. DOI : 10.4028/p-7p174d.
4. Kondratiev, V.V. [et al.]. (2015). Carbon foam of aluminum electrolyzers and carbon nanotubes (CNTs) in it // Bulletin of Irkutsk State Technical University. 12 (107). 215-222. (In Russ.).
5. Kuzmin, M.P. [and other]. (2019). The use of carbon-containing wastes of aluminum production in ferrous metallurgy // News of higher educational institutions. Ferrous Metallurgy. 20 Nemchinova N.V. et al. Optimizing the charge pelletizing parameters for silicon smelting based on technogenic materials. Metallurgist. 63(10). 115-122. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2020-10-836-841>.
6. Dahhou, M. [et al.]. (2021). Synthesis and characterization of belite clinker by sustainable utilization of alumina sludge and natural fluorite (CaF₂). Materialia. 20. 101204. DOI : 10.1016/j.mta.2021.101204.
7. Istomin, S.P., Antipina, T.P. (1992). Copyright certificate No. 1747385 A1 USSR, IPC C01F 7/54, C01F 11/22. Method of obtaining calcium fluoride : No. 4842926 : application. 25.06.1990 : publ. 15.07.1992; applicant Irkutsk branch of the All-Union Research and Design Institute of Aluminum, Magnesium and Electrode Industry. EDN VGTYDJ (In Russ.).
8. Bolely, V.F. (1995). Patent No. 2029731 C1 Russian Federation, IPC C01F 11/22. Method of obtaining calci-

um fluoride : No. 5051265/26 : application 06.07.1992 : publ. 27.02.1995; applicant Research and Design Institute of Chemical Industry. EDN JJRTXH (In Russ.).

9. Medvedev, G.P., Dashkevich, R.Ya., Kulikov, B.P. & Anikeev, V.I. (2007). Patent No. 2312815 C2 Russian Federation, IPC C01F 7/38, C22B7/00. method of processing aluminum-containing raw materials : No. 2006101009/15 : application 10.01.2006 : publ. 20.12.2007. EDN OGRMZS (In Russ.).

10. Endzhievskaya, I.G., Demina, A.V. & Lavorenko, A.A. (2020). Synthesis of a mineralizing agent for Portland cement from aluminum production waste. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 945(1). C. 012062. DOI : 10.1088/1757-899X/945/1/012062.

11. Kulikov, B.P., Vertoprakhova, L.A. & Pigarev, M.N. (2006). Utilization of waste from sludge fields of aluminum plants in cement production // Non-ferrous metals. 3. 46-51 (In Russ.).

12. Kulikov, B.P. [et al.]. (2010). Production of clinker using a mineralizer based on fluorinated waste. Cement and its application. 2. 102-105. (In Russ.).

13. Kulikov, B.P. [et al.]. (2010). Utilization of fluorinated aluminum production waste in the cement industry. Ecology and industry of Russia. 5. 4-6. (In Russ.).

14. Brial, V. [et al.]. (2023). Effect of fluorite addition on the reactivity of a calcined treated spent pot lining in cementitious materials. CEMENT.12. 100070. DOI : 10.1016/j.cement.2023.100070.

Information about the authors

B.P. Kulikov - Doctor of Chemical Sciences,
Leading Researcher at the Institute of Non-Ferrous
Metals of the Siberian Federal University.

N.V. Vasyunina - Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department "Metallurgy of Non-ferrous Metals" of the Siberian Federal University.

I.V. Dubova - Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department "Fundamental Natural Science Education" of the Siberian Federal University.

A.S. Samoilo - Research Engineer FSRZ-2023-0009,
Scientific Activity Development Office of the Siberian Federal University.

R.O. Balanov - Leading Engineer of the Department "Technosphere Safety of Mining and Metallurgical Production" of the Siberian Federal University.

A.I. Bezrukikh - Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department "General Metallurgy" of the Siberian Federal University.

Yu.V. Baykovsky - Research engineer of the Laboratory of Physical Chemistry of Metallurgical Processes and Materials of the Siberian Federal University.

N.S. Dombrovskiy - Master's student of the Department of General Metallurgy of the Siberian Federal University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 30 октября 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 06 мая 2024.

The article was received by the editorial board on 30 Oct 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 06 May 2024.



Научная статья
2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)
УДК66.084.8

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.028

 EDN: NYNSAX

ЭФФЕКТ ВОЗДЕЙСТВИЯ КАВИТАЦИОННОЙ ОБЛАСТИ С ГРАНИЦЕЙ РАЗДЕЛА ФАЗ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕССЫ ГАЗОРАСТВОРЕНИЯ: ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ

Владимир Николаевич Хмелёв¹, Роман Николаевич Голых²,
Сергей Николаевич Цыганок³, Денис Сергеевич Абраменко⁴,
Александр Романович Барсуков⁵, Вячеслав Дмитриевич Минаков⁶

1, 2, 3, 4, 5, 6 Бийский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

¹ vnh@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7089-3578>

² grn@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7708-0665>

³ grey@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7832-3510>

⁴ ades@bti.secna.ru

⁵ barsukov.ar@bti.secna.ru

⁶ slava2926@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются особенности влияния ультразвуковой кавитационной области на межфазную границу в системе «жидкость–газ» с целью повышения площади межфазной поверхности для интенсификации массообменных процессов, происходящих в данной системе. В исследовании рассматривался тонкий плёночный слой жидкой фазы, распределённый по поверхности твёрдого тела. Проведённые исследования и анализ позволили установить, что кавитационная зона, порождённая ультразвуковыми колебаниями, способствует возникновению капиллярных волн, что непосредственно приводит к увеличению площади соприкосновения взаимодействующих фаз. Проведена работа по выявлению оптимальных режимов ультразвукового воздействия с целью обеспечения наибольшей площади межфазной поверхности. Выявленные оптимальные режимы ультразвукового облучения в дальнейшем позволят осуществлять физико-химические процессы с участием различных веществ с увеличенной эффективностью. Установлено увеличение площади межфазной поверхности вплоть до 3-х раз при воздействии ультразвука при частоте 60 кГц в зависимости от конкретных условий реализации технологических процессов и характеристик веществ, участвующих в них. Полученные результаты могут быть применены на практике, например, для более эффективного процесса газорастворения. В этом случае такие процессы, как очистка газовых смесей и получение целевых компонентов, имеют высокую эффективность реализации в сравнении с неоптимальными режимами ультразвукового воздействия или вовсе без использования ультразвуковых колебаний для интенсификации указанных выше процессов.

Ключевые слова: ультразвук, кавитация, межфазная граница «газ–жидкость», карбоновый след, растворение газа, массообменные процессы.

Благодарности: Исследования возможности применения ультразвука для кавитационного воздействия выполнены при поддержке гранта РФФИ 22-29-00828 «Кавитационно-акустическое формирование многосвязной межфазной поверхности «газ–жидкость» для решения проблемы высокоэффективного поглощения газов».

Для цитирования: Эффект воздействия кавитационной области с границей раздела фаз и его влияние на процессы газорастворения: исследование и анализ / В. Н. Хмелёв [и др.] // Ползуновский вестник. 2024. № 2, С. 217–222. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.028. EDN: <https://elibrary.ru/NYNSAX>.

Original article

EFFECT OF CAVITATION REGION INFLUENCE WITH THE PHASE BOUNDARY AND ITS INFLUENCE ON GAS DISSOLUTION PROCESSES: RESEARCH AND ANALYSIS

Vladimir N. Khmelev¹, Roman N. Golykh², Sergey N. Tsyganok³,
Denis S. Abramenko⁴, Aleksandr R. Barsukov⁵, Vyacheslav D. Minakov⁶

^{1, 2, 3, 4, 5, 6} Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University, Biysk, Russia

¹ vnh@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7089-3578>

² grn@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7708-0665>

³ grey@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7832-3510>

⁴ ades@bti.secna.ru

⁵ barsukov.ar@bti.secna.ru

⁶ slava2926@mail.ru

Abstract. *The article discusses the features of the ultrasonic cavitation region influence on the interphase boundary in the "liquid-gas" system with the aim of increasing the interphase surface area to intensify the mass transfer processes occurring in this system. The study examined a thin film layer of the liquid phase distributed over the surface of a solid. The conducted research and analysis made it possible to establish that the cavitation zone generated by ultrasonic vibrations contributes to the emergence of capillary waves, which directly leads to an increase in the contact area of the interacting phases. Work has been carried out to identify optimal modes of ultrasonic exposure in order to ensure the largest interfacial surface area. The identified optimal modes of ultrasonic irradiation will in the future make it possible to carry out physical and chemical processes involving various substances with increased efficiency. It has been established that the interfacial surface area increases up to 3 times when exposed to ultrasound at a frequency of 60 kHz, depending on the specific conditions for the implementation of technological processes and the characteristics of the substances involved in them.*

The results obtained can be applied in practice, for example, for a more efficient gas dissolution process. In this case, processes such as the purification of gas mixtures and the production of target components have a high implementation efficiency, in comparison with non-optimal modes of ultrasonic exposure or without the use of ultrasonic vibrations at all to intensify the above processes.

Keywords: *ultrasonic, cavitation, gas-liquid interface, carbon footprint, gas dissolution, mass transfer processes.*

Acknowledgements: *Studies of the possibility of using ultrasound for cavitation action were supported by RNF grant 22-29-00828 "Cavitation-acoustic formation of multi-cohesive interfacial surface "gas-liquid" to solve the problem of highly efficient gas absorption".*

For citation: Khmelev, V.N., Golykh, R.N., Tsyganok, S.N., Abramenko, D.S., Barsukov, A.R. & Minakov, V.D. (2024). Effect of cavitation region influence with the phase boundary and its influence on gas dissolution processes: research and analysis. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 217-222. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.02.028. EDN: <https://NYNSAX>.

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность протекания многих физико-химических процессов в большой степени зависит от площади соприкосновения взаимодействующих фаз. Например, в системах «газ–жидкость» на скорость протекания таких процессов, как абсорбция, дегазация и пр., в значительной степени влияет не только скорость проникновения одного вещества в другое, обусловленная коэффициентом диффузии, но и площадь межфазной поверхности.

Одним из эффективных способов обеспечения увеличения межфазной поверхности в системах «газ–жидкость» является воздействие кавитационной области на раздел фаз.

Цикл расширения и последующего коллапсирования кавитационных полостей приводит к возникновению ударных волн, быстро затухающих в пространстве. В связи с этим появляется необходимость в непосредственном контакте межфазной поверхности с кавитационной областью с целью эффективного использования формирующихся капиллярных волн для увеличения области контакта взаимодействующих фаз. На сегодняшний день твердотельные излучатели ультразвука являются эффективным средством порождения явления кавитации в жидкой фазе [1–3]. Применение таких излучателей на частоте 20...70 кГц позволяет реализовать возникно-

ЭФФЕКТ ВОЗДЕЙСТВИЯ КАВИТАЦИОННОЙ ОБЛАСТИ С ГРАНИЦЕЙ РАЗДЕЛА ФАЗ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕССЫ ГАЗОРАСТВОРЕНИЯ: ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ

вление кавитационных пузырьков с дальнейшим порождением капиллярных волн на границе раздела жидкой и газообразной фазы с минимальными энергетическими затратами.

Интерес к интенсификации представляет собой увеличение удельной площади межфазной поверхности. Распределение жидкой фазы по твёрдой поверхности с дальнейшим облучением ультразвуковыми колебаниями позволяет добиться требуемого результата. Однако возникает проблема калибровки ультразвукового оборудования для обеспечения требуемых параметров ультразвукового воздействия. В связи с этим появляется потребность в разработке модели, позволяющей определить режим ультразвукового воздействия, при котором увеличение межфазной поверхности «газ–жидкость» будет максимальным.

При разработке модели следует учитывать способность твёрдой поверхности к отражению ударных волн. Данный фактор оказывает важное влияние при формировании ультразвуком кавитационных пузырьков в жидкой фазе, т.к. отражающие явления приводят к их асимметричному коллапсированию.

С учётом вышесказанного, модель взаимодействия кавитационной области с межфазной поверхностью «газ–жидкость» позволяет выявить оптимальные характеристики воздействия ультразвуком, позволяющие обеспечить наибольшее увеличение контакта между жидкой и газовой фазами.

МЕТОДЫ

В первую очередь необходимо рассмотреть основные этапы процесса формирования капиллярных волн на границе раздела жидкой и газовой фазы при возникновении кавитационных явлений, инициированных воздействием ультразвуковых колебаний.

Сначала происходит увеличение радиуса кавитационного пузырька за счёт его расширения. Из-за незначительных радиальной скорости движения стенок кавитационного пузырька он сохраняет свою сферическую симметрию.

Затем происходит асимметричное коллапсирование кавитационного пузырька. Радиус пузырька после схлопывания становится минимальным. При этом во время схлопывания кавитационного пузырька возникает ударная волна, которая распространяется в жидкой фазе, представленной плёнкой жидкости.

На рисунке 1 представлена схема, использованная для исследования процесса возникновения капиллярной волны на поверхности «газ–жидкость».

На параметры возникающих кавитационных пузырьков под воздействием ультразвука

влияют следующие факторы: частота ультразвуковых колебаний (при которой происходит обработка межфазной границы), амплитуда воздействия поверхности твёрдого тела, физические свойства жидкой фазы. Поэтому при расчёте таких параметров кавитационного пузырька, как его максимальный радиус (R_{max}) и расстояние центра (z) до твёрдой поверхности, необходимо учитывать эти особенности. При этом имеют место два допущения.

Первое допущение. Как было сказано ранее, увеличение пузырька является сферически симметричным. При этом с течением времени центр пузырька осуществляет вертикальные движения по отношению к твёрдой поверхности.

Второе допущение. Ввиду того, что кавитационные пузырьки, располагающиеся вблизи твёрдой поверхности, оказывают наибольшее влияние при возникновении капиллярных волн, допущение предполагает, что изначально центр зарождающегося кавитационного пузырька располагается на малом расстоянии от твёрдой поверхности. При этом R_{max} кавитационного пузырька рассчитывается уравнением Нолтинга–Непайреса [3]:

$$\rho \left(\frac{3}{2} \left(\frac{\partial R}{\partial t} \right)^2 + R \frac{\partial^2 R}{\partial t^2} \right) = -4\mu \frac{\partial R}{R} + p_{II} + \left(p_0 + \frac{2\sigma}{R_0} \right) \left(\frac{R_0}{R} \right)^{3\gamma} - p_0 + 4\pi^2 f^2 \rho A h \sin(2\pi f t) ;$$

где R – мгновенный радиус кавитационного пузырька, м; R_0 – радиус кавитационного зародыша, м; σ – поверхностное натяжение жидкости, Н/м; ρ – плотность жидкости, кг/м³; p_0 – статическое давление в жидкости, Па; f – частота ультразвуковых колебаний, Гц; h – толщина плёнки жидкости, м; A – амплитуда ультразвуковых колебаний, м.

С помощью уравнения В.В. Рождественского [4] можно вычислить расстояние между твёрдой поверхностью и центром кавитационного пузырька, в тот момент, когда он имеет максимальный размер:

$$6b^2 \frac{\partial b}{\partial t} \frac{\partial R}{\partial t} + 2b^2 R \frac{\partial^2 b}{\partial t^2} + 3R^2 \left(\frac{\partial R}{\partial t} \right)^2 = 0 ;$$

где b – расстояние между твёрдой поверхностью и центром кавитационного пузырька, м.

С помощью уравнения Гилмора осуществляется расчёт коллапсирования кавитационного пузырька. Была определена зависимость между нормальной компонентой скорости, приобретаемой свободной поверхностью жидкости, и расстоянием между рассматриваемой точкой свободной поверхности и точкой максимально достигаемой скорости.

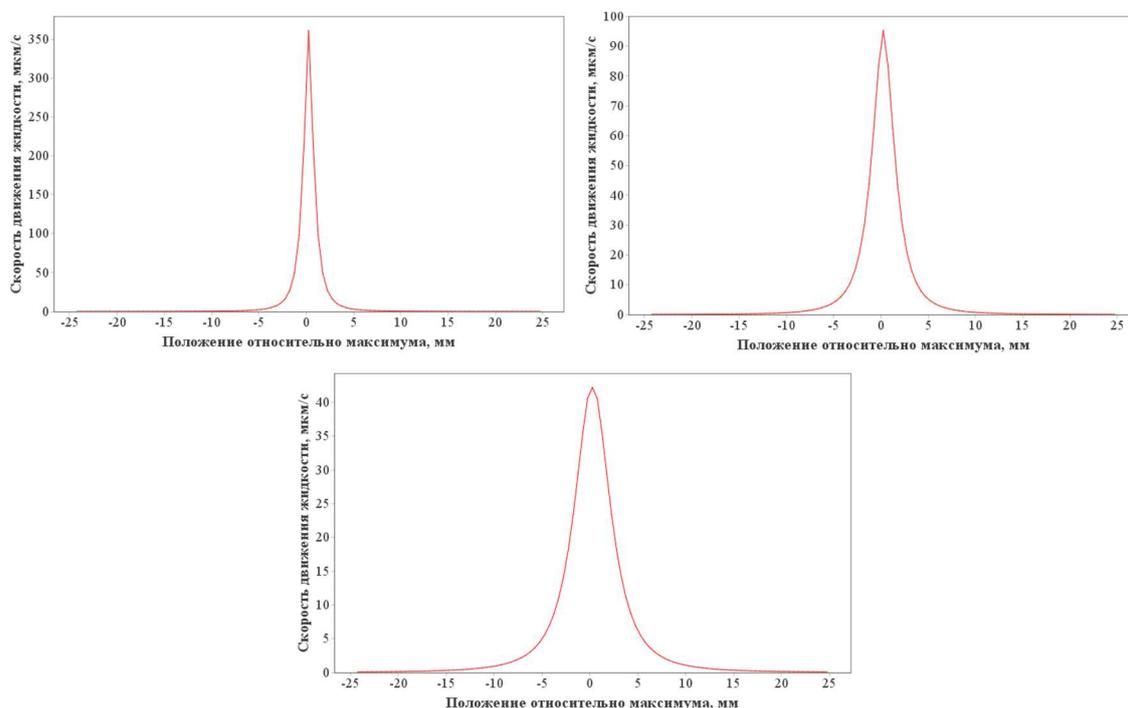


Рисунок 1 – Характер движения жидкости в зоне близости к свободной поверхности

Figure 1 - The nature of fluid movement in the area of proximity to a free surface

Выражение (1) позволяет рассчитать смещённый профиль капиллярной волны:

$$\xi(r, t) = -\frac{1}{\rho} \int_0^{t_1} \int_0^{t_2} \frac{\partial p}{\partial z} \partial t_1 \partial t_2, \quad (1)$$

где $\xi(r, t)$ – смещённая граница между газом и жидкостью вдоль оси z, м.

Определённую форму капиллярной волны можно использовать при вычислении удельной площади межфазной поверхности в системе «газ–жидкость». Здесь принимаются в расчёт такие возникающие явления, как дробление пузырьков и коалесценция [4]. Данные вычисления производятся по формуле (2).

$$S = \frac{1}{h} + \frac{4}{\pi} f \left\langle \frac{j-1}{R_{MAX}^2 U} \right\rangle^{0,5\lambda} \int_0^{0,5\lambda} r \sqrt{1 + \left(\frac{\partial \xi}{\partial r} \right)^2} \partial r, \quad (2)$$

где S – удельная площадь межфазной границы, м²/м³; λ – длина капиллярной волны (м),

вычисляемая из условия $\frac{\partial \xi}{\partial r} \left(\frac{\lambda}{2}, t \right) = 0$; n – концентрация кавитационных пузырьков [5], м⁻³; f – частота ультразвуковых колебаний, Гц; R_{MAX} – максимальный радиус кавитационного пузырька, который достигается в стадии расширения, м; U – средняя скорость сближения кавитационных пузырьков, определяемая силами Бьеркнеса, м/с; j – количество кавитационных зародышей, которые формируются при дроблении отдельного пузырька; < > – усреднение по толщине плёнки жидкости; h – толщина плёнки, м.

220

РЕЗУЛЬТАТЫ

Разработанная модель позволяет наблюдать изменения в размере межфазной поверхности в системе «газ–жидкость» при воздействии ультразвука с разными значениями параметров. К таким параметрам относятся: частота и амплитуда колебаний твёрдого тела, на поверхности которого располагается плёнка жидкости, являющейся промежуточным звеном для газовой и жидкой фаз, между которыми предполагается осуществление массообменных процессов (зависимость представлена на рисунке 2). А также модель позволяет увидеть зависимость площади межфазной поверхности от свойств жидкой фазы (зависимость представлена на рисунке 3).

Отношение удельной площади межфазной границы под действием ультразвуковых колебаний (S_{УЗ}) к площади, не озвучиваемой ультразвуком (S_{БЕЗ УЗ}):

$$K = \frac{S_{УЗ}}{S_{БЕЗ УЗ}},$$

где K – относительное увеличение площади межфазной поверхности.

На рисунках 2 и 3 прерывистыми линиями обозначается потеря устойчивости капиллярной волны и ее последующие разделение [6]. График зависимости от частоты (рисунок 3, б) построен при стабильной капиллярной волне (на максимальных амплитудах).

ЭФФЕКТ ВОЗДЕЙСТВИЯ КАВИТАЦИОННОЙ ОБЛАСТИ С ГРАНИЦЕЙ РАЗДЕЛА ФАЗ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕССЫ ГАЗОРАСТВОРЕНИЯ: ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ

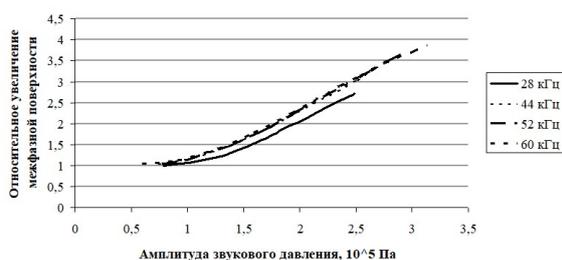


Рисунок 2 – Графики, отражающие изменение площади межфазной поверхности при изменении амплитуды звукового давления на различных частотах колебаний

Figure 2 - Graphs reflecting the change in the area of the interfacial surface when the amplitude of the sound pressure changes at different oscillation frequencies

Можно сделать вывод о том, что рост амплитуды и частоты приводит к увеличению площади межфазной поверхности [1, 5].

Также из графиков видно, что существует некий оптимум при частоте в 60 кГц, обусловленный значительным ростом потерь энергии в излучателе ультразвука. При этом наблюдается снижение роста межфазной поверхности, что говорит о том, что применение более высоких частот (свыше 60 кГц) является неоптимальным.

На рисунке 3 представлены зависимости удельной площади межфазной поверхности от амплитуды. Здесь были учтены такие свойства жидкости, как вязкость (рисунок 3, а) и поверхностное натяжение (рисунок 3, б).

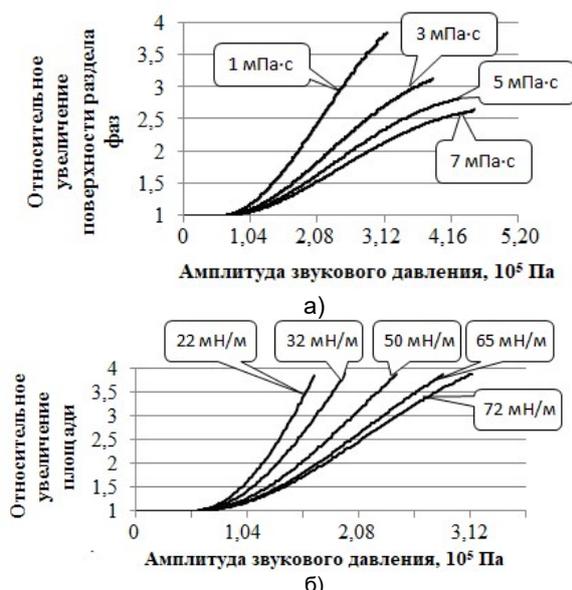


Рисунок 3 – Относительное увеличение площади межфазной поверхности в зависимости от амплитуды при различных свойствах жидкости (частота 60 кГц)

Figure 3 - Relative increase in the area of the interfacial surface depending on the amplitude at different properties of the liquid (frequency 60 kHz)

Анализ графиков, приведенных на рисунке 3, показал влияние жидкости и ее свойств на изменение площади межфазной поверхности. В частности, снижение вязкости приводит к уменьшению удельной площади межфазной поверхности. Это объясняется тем, что происходит поглощение ударных волн в жидкости и силы трения оказывают сопротивление. Эти факторы приводят к увеличению предела радиуса кавитационного пузырька.

В статье описана созданная модель взаимодействия кавитационной зоны, которая возникает при воздействии высокоинтенсивных механических колебаний ультразвуковой частоты на жидкую фазу в дисперсной системе, с межфазной поверхностью в системе «газ-жидкость». Такое взаимодействие обуславливает возникновение капиллярных волн, приводящих к увеличению межфазной поверхности.

Исследование модели позволило получить оптимальные параметры ультразвукового воздействия. Критерием оптимальности является обеспечение максимальной площади межфазной поверхности в системе «газ-жидкость». Были рассчитаны предельные значения амплитуды колебаний твердой поверхности, при которых происходило диспергирование жидкой фазы – капиллярные волны распадались на мелкие капли.

Определена оптимальная частота ультразвукового воздействия, которая составила 60 кГц. При ней происходит увеличение площади межфазной поверхности до 3-х раз.

Приведенные в данной работе результаты исследований важны для более глубокого понимания особенностей взаимодействия кавитационной области вблизи межфазной границей «газ-жидкость» и имеют практическое применение при интенсификации различных массообменных процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физические основы ультразвуковой технологии / под общ. ред. Л.Д. Розенберга. Москва : Наука, 1969. 689 с.
2. Исида Х. [и др.]. Поведение кавитационного пузырька вблизи твердых границ // Четвертый международный симпозиум по кавитации. США : Калифорнийский технологический институт, 2001. 5 с.
3. Повышение эффективности ультразвуковой кавитационной обработки вязких и дисперсных сред / В.Н. Хмелёв [и др.]. Бийск, 2011. 102 с.
4. Рождественский В.В. Кавитация. Ленинград : Судостроение, 1977. 247 с.
5. Выявление режимов ультразвукового воздействия, обеспечивающих формирование кавитационной области в высоковязких и неньютоновских жидкостях / В.Н. Хмелёв [и др.] // Южно-Сибирский научный вестник. 2014. № 1(5). С. 22–27.
6. Хмелёв В.Н., Голых Р.Н., Шалунов А.В., Шалунова А.В., Генне Д.В. Выявление оптимальных режимов ультразвукового воздействия для распыления

вязких жидкостей путем математического моделирования // Материалы XIII Международной конференции и семинара по микро/нанотехнологиям и электроэрозионной обработке электронных приборов. Новосибирск : НГТУ. 2012. С. 114–123.

Информация об авторах

В. Н. Хмелёв – 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».

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».

С. Н. Цыганок – кандидат технических наук, доцент 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».

Д. С. Абраменко – кандидат технических наук, доцент 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».

А. Р. Барсуков – инженер 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».

В. Д. Минаков – инженер 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».

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 30 октября 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 06 мая 2024.

The article was received by the editorial board on 30 Oct 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 06 May 2024.

REFERENCES

1. Rosenberg, L.D. (1969). Physical foundations of ultrasonic technology. Moscow : Science. (In Russ.).
2. Ishida, H. [et al.]. Behavior of a cavitation bubble near solid boundaries. *Fourth International Symposium on Cavitation*. USA: California Institute of Technology.
3. Khmelev, V.N. [et al.]. (2011). Increasing the efficiency of ultrasonic cavitation treatment of viscous and dispersed media. Biysk. (In Russ.).
4. Rozhdestvensky, V.V. (1977). Cavitation. Leningrad: Shipbuilding. (In Russ.).
5. Khmelev, V.N. [et al.]. (2014). Identification of ultrasonic exposure modes that ensure the formation of a cavitation region in highly viscous and non-Newtonian liquids. *South Siberian Scientific Bulletin*, 1(5), 22-27. (In Russ.).
6. Khmelev, V.N., Golykh, R.N., Shalunov, A.V., Shalunova, A.V. & Genne, D.V. Identification of optimal modes of ultrasonic influence for spraying viscous liquids by mathematical modeling. *Proceedings of the XIII International Conference and Seminar on Micro/Nanotechnologies and Electrical Discharge Machining of Electronic Devices*. Novosibirsk: NSTU. (In Russ.).

Information about the authors

V.N. Khmelev - 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.

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.

S.N. Tsyganok - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Methods and instruments of measurement and automation» of the Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University.

D.S. Abramenko - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Methods and instruments of measurement and automation» of the Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University.

A.R. Barsukov - Engineer of the Department of «Methods and instruments of measurement and automation» of the Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University.

V.D. Minakov - Engineer of the Department of «Methods and instruments of measurement and automation» of the Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University.



Научная статья

2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)

УДК 534-8

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.029



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ КРИВИЗНЫ СФЕРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ИСКАЖЕНИЕ КАПИЛЛЯРНЫХ ВОЛН, ОБРАЗУЕМЫХ ПОД ДЕЙСТВИЕМ КАВИТАЦИИ

Роман Николаевич Голых¹, Вячеслав Дмитриевич Минаков²

^{1,2} Бийский технологический институт (филиал) Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, Бийск, Россия

¹ grn@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8204-0000>

² barsukov.ar@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4863-0000>

Аннотация. Эффективность массообменных процессов в системах «газ–жидкость» ограничена малым коэффициентом диффузии газа в жидкости по сравнению с коэффициентом диффузии газа в газе (меньше в 10000 раз и более). В связи с этим актуальна разработка физических принципов, направленных на устранение лимитирующих факторов процесса. Поскольку малый коэффициент диффузии является принципиальным физическим ограничением процесса, был рассмотрен подход, основанный на увеличении площади межфазной поверхности взаимодействия за счёт формирования капиллярных волн под действием схлопывающихся кавитационных пузырьков (максимальный размер 50...100 мкм). В представленной статье межфазная поверхность взаимодействия представляет собой возмущённую сферическую оболочку. Рассмотрение сферической оболочки связано с тем, что наиболее эффективный способ реализации межфазного взаимодействия «газ–жидкость» заключается в барботировании сплошной жидкой фазы в виде крупных пузырьков, имеющих размер до нескольких мм. На сегодняшний день известны модели формирования капиллярных волн на плоской поверхности. Однако формирование капиллярных волн на поверхности сферического пузырька при наличии объёма окружающей жидкости рассматривалось лишь с точки зрения общих выражений для собственных частот колебаний пузырька без рассмотрения влияния кривизны сферической поверхности на искажение волн. Предложена гидродинамическая модель формирования капиллярных волн с учётом искажений, вызванных формой сферической поверхности. Разработан алгоритм приближённого аналитического решения уравнения, основанный на асимптотическом разложении по средней кривизне поверхности. Установлено, что искажения начальной поверхности в виде сферической кривизны не влияют на длину формируемых волн, однако приводят к локальной пространственной модуляции амплитуды вдоль поверхности.

Ключевые слова: ультразвук, волны, кавитация, поверхность, искажения.

Благодарности: Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23-12-00278, <https://rscf.ru/project/23-12-00278/>.

Для цитирования: Голых Р. Н., Минаков В. Д. Теоретические исследования влияния кривизны сферической поверхности на искажение капиллярных волн, образуемых под действием кавитации // Ползуновский вестник. 2024. № 2, С. 217–222. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.028. EDN: <https://elibrary.ru/UYVGZF>.

Original article

THEORETICAL STUDIES OF THE INFLUENCE OF CURVATURE OF A SPHERICAL SURFACE ON THE DISTORTION OF CAPILLARY WAVES FORMED UNDER THE INFLUENCE OF CAVITATION

Roman N. Golykh¹, Vyacheslav D. Minakov²

^{1,2} Biysk Technological Institute (branch) of Polzunov Altai State Technical University, Biysk, Russia

¹ grn@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8204-0000>

² barsukov.ar@bti.secna.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4863-0000>

© Голых Р. Н., Минаков В. Д., 2024

Abstract. *The efficiency of mass transfer processes in gas-liquid systems is limited by the small diffusion coefficient of gas in liquid compared to the diffusion coefficient of gas in gas (10,000 times less or more). In this regard, the development of physical principles aimed at eliminating the limiting factors of the process is relevant. Since a low diffusion coefficient is a fundamental physical limitation of the process, an approach was considered based on increasing the area of the interfacial interaction surface due to the formation of capillary waves under the action of collapsing cavitation bubbles (maximum size 50...100 μm). In the presented article, the interfacial interaction surface is a perturbed spherical shell. Consideration of a spherical shell is due to the fact that the most effective way to implement gas-liquid interphase interaction is to bubble a continuous liquid phase in the form of large bubbles up to several mm in size. To date, models for the formation of capillary waves on a flat surface are known. However, the formation of capillary waves on the surface of a spherical bubble in the presence of a volume of surrounding liquid was considered only from the point of view of general expressions for the natural frequencies of oscillations of the bubble, without considering the influence of the curvature of the spherical surface on the distortion of the waves. A hydrodynamic model of the formation of capillary waves is proposed, taking into account distortions caused by the shape of the spherical surface. An algorithm for an approximate analytical solution of the equation has been developed, based on an asymptotic expansion in the mean curvature of the surface. It has been established that distortions of the initial surface in the form of spherical curvature do not affect the length of the generated waves, but lead to local spatial modulation of the amplitude along the surface.*

Keywords: *ultrasonic, waves, cavitation, surface, disturbances.*

Acknowledgements: *The research was supported by the Russian Science Foundation grant No. 23-12-00278, <https://rscf.ru/project/23-12-00278/>.*

For citation: Golykh, R.N. & Minakov, V.D. (2024). Theoretical studies of the influence of the curvature of a spherical surface on the distortion of capillary waves formed under the action of cavitation. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 223-222. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.02.029. EDN: <https://UYVGZF>.

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность массообменных процессов в системах «газ–жидкость» ограничена малым коэффициентом диффузии газа в жидкости по сравнению коэффициентом диффузии газа в газе (меньше в 10000 раз и более) [1–3]. В связи с этим актуальна разработка физических принципов, направленных на устранение лимитирующих факторов процесса [4–7]. Поскольку малый коэффициент диффузии является принципиальным физическим ограничением процесса, был рассмотрен подход, основанный на увеличении площади межфазной поверхности взаимодействия за счёт формирования капиллярных волн под действием схлопывающихся кавитационных пузырьков (максимальный размер 50...100 мкм). В представленной статье межфазная поверхность взаимодействия представляет собой возмущённую сферическую оболочку. Рассмотрение сферической оболочки связано с тем, что наиболее эффективный способ реализации межфазного взаимодействия «газ–жидкость» заключается в барботировании сплошной жидкой фазы в виде крупных пузырьков, имеющих размер до нескольких мм. На сегодняшний день известны модели формирования капиллярных волн на плоской поверхности. Однако формирование капиллярных волн на поверхности сферического пузырька при наличии объёма окружающей жидкости рассматривалось лишь с точки зрения общих выражений для собственных частот колебаний пузырька без

рассмотрения влияния кривизны сферической поверхности на искажение волн.

Поэтому цель исследования заключается в разработке модели формирования капиллярных волн на поверхности с учётом влияния её начальной сферической кривизны.

Задачи исследования включают:

- формулировку математической постановки задачи моделирования капиллярных волн на поверхности с начальной сферической кривизной;
- разработку алгоритма приближённого решения задачи;
- анализ влияния сферической кривизны поверхности на профиль капиллярных волн.

Решение поставленных задач представлено в следующих разделах работы.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассматривается течение идеальной несжимаемой жидкости вблизи сферической поверхности. Течение предполагает, что квадрат длины капиллярной волны на поверхности мал по сравнению с квадратом радиуса кавитационного пузырька.

Такое ограничение на отношение квадратов, а не на отношение линейных величин связано с тем, что:

- при принятии допущения о малости линейных слагаемых кривизна сферической поверхности на формирование капиллярных волн

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ КРИВИЗНЫ СФЕРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ИСКАЖЕНИЕ КАПИЛЛЯРНЫХ ВОЛН, ОБРАЗУЕМЫХ ПОД ДЕЙСТВИЕМ КАВИТАЦИИ

не влияет. Определение формы волн для данного случая (когда начальная поверхность близка к плоской) является решенной задачей;

- построение точного решения задачи со свободной поверхностью при учёте нелинейных слагаемых в выражении для средней кривизны является чрезвычайно сложной задачей;

- в свою очередь, данное отношение позволяет рассматривать формирование волн на участке поверхности, размер которого составляет вплоть до 0,2 от величины диаметра пузырька или до 0,4 от величины радиуса кривизны его поверхности.

Форма расчётной области выглядит следующим образом (рисунок 1).



Рисунок 1 – Форма расчётной области для определения площади межфазной поверхности «газ–жидкость»

Figure 1 - Calculation area form for determining square of interphase surface “gas-liquid”

В рамках поставленной задачи колебания межфазной поверхности возбуждаются за счёт пространственно распределённой силы, вызванной ударными волнами под действием схлопывающихся кавитационных пузырьков.

Поскольку ударные волны, образуемые под действием кавитации [2], имеют широкий спектр, то было рассмотрено возбуждение колебаний межфазной поверхности, при воздействии одной из гармоник, имеющей фиксированную пространственную длину волны и фиксированную частоту.

Поскольку задача решается в приближении идеальной несжимаемой жидкости, то для её решения рассматривается потенциальное течение, описываемое уравнением Лапласа, следующим из уравнения неразрывности, и уравнения сохранения импульса.

При этом рассматриваются малые амплитуды поверхностных волн по сравнению с их длиной, что даёт возможность исключить нелинейные слагаемые в уравнениях.

$$\Delta \varphi = 0; \quad (1)$$

$$p = P_{ext} + p_0 - \rho \frac{\partial \varphi}{\partial t}; \quad (2)$$

где φ – потенциал скорости движения жидкости, м²/с; p – мгновенное значение давления в жидкости, Па; p_0 – статическое давление в жидкости, Па; ρ – плотность жидкости, кг/м³; t – время, с; P_{ext} – внешнее силовое воздействие (ими могут являться ударные волны, созда-

ваемые от соседних схлопывающихся кавитационных пузырьков), Па.

Положение границы описывается параметрически заданной функцией:

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(x_c, y_c, t) = \mathbf{r}_0(x_c, y_c) + \mathbf{s}(x_c, y_c, t); \quad (3)$$

На границе справедливы следующие условия, которые в приближении малых амплитуд выглядят следующим образом:

$$\frac{\partial \mathbf{r}}{\partial t} = \nabla \varphi; \quad (4)$$

$$-\rho \frac{\partial \varphi}{\partial t} - 2\sigma H = \left(p_0 + \frac{2\sigma}{R} \right) \times \left(\left(\frac{4\pi R^3}{\int_{4\pi} \|\mathbf{r}(x_c, y_c)\|^3 d\Omega} \right)^{\gamma} - 1 \right) \approx 0; \quad (5)$$

$$2H = \frac{EN - 2FM + GL}{EG - F^2} \approx$$

$$\approx \left(\left(\frac{\partial \mathbf{r}_0}{\partial x_c}, \frac{\partial \mathbf{r}_0}{\partial x_c} \right) + 2 \left(\frac{\partial \mathbf{r}_0}{\partial x_c}, \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial x_c} \right) \right) N -$$

$$- 2 \left(\frac{\partial \mathbf{r}_0}{\partial x_c}, \frac{\partial \mathbf{r}_0}{\partial y_c} \right) M -$$

$$- 2 \left(\left(\frac{\partial \mathbf{r}_0}{\partial x_c}, \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial y_c} \right) + \left(\frac{\partial \mathbf{r}_0}{\partial y_c}, \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial x_c} \right) \right) M +$$

$$+ \left(\left(\frac{\partial \mathbf{r}_0}{\partial y_c}, \frac{\partial \mathbf{r}_0}{\partial y_c} \right) + 2 \left(\frac{\partial \mathbf{r}_0}{\partial y_c}, \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial y_c} \right) \right) L \times$$

$$\times \left(\left(\frac{\partial \mathbf{r}_0}{\partial x_c}, \frac{\partial \mathbf{r}_0}{\partial x_c} \right) + 2 \left(\frac{\partial \mathbf{r}_0}{\partial x_c}, \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial x_c} \right) \right) \times$$

$$\times \left(\left(\frac{\partial \mathbf{r}_0}{\partial y_c}, \frac{\partial \mathbf{r}_0}{\partial y_c} \right) + 2 \left(\frac{\partial \mathbf{r}_0}{\partial y_c}, \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial y_c} \right) \right) -$$

$$- \left(\frac{\partial \mathbf{r}_0}{\partial x_c}, \frac{\partial \mathbf{r}_0}{\partial y_c} \right)^2 -$$

$$- 2 \left(\frac{\partial \mathbf{r}_0}{\partial x_c}, \frac{\partial \mathbf{r}_0}{\partial y_c} \right) \left(\frac{\partial \mathbf{r}_0}{\partial x_c} + \frac{\partial \mathbf{r}_0}{\partial y_c}, \frac{\partial \mathbf{s}}{\partial y_c} \right)^{-1}$$

$$E = \left(\frac{\partial \mathbf{r}}{\partial x_c}, \frac{\partial \mathbf{r}}{\partial x_c} \right); \quad L = \left(\frac{\partial^2 \mathbf{r}}{\partial x_c^2}, \mathbf{n} \right);$$

$$G = \left(\frac{\partial \mathbf{r}}{\partial y_c}, \frac{\partial \mathbf{r}}{\partial y_c} \right); \quad N = \left(\frac{\partial^2 \mathbf{r}}{\partial y_c^2}, \mathbf{n} \right);$$

$$F = \left(\frac{\partial \mathbf{r}}{\partial x_c}, \frac{\partial \mathbf{r}}{\partial y_c} \right);$$

Далее, используя указанную систему уравнений (1, 2) с граничными условиями (4, 5), задача решалась в специальной системе координат (x_c, y_c, z_c) , которая далее называется **проек-**

ционной, для описания волн на сферической поверхности. Преобразования между декартовой и проекционной системами координат осуществляются согласно следующему правилу:

$$x = R \frac{x_c}{r_c} \sin \frac{r_c}{R};$$

$$y = R \frac{y_c}{r_c} \sin \frac{r_c}{R};$$

$$z = (R + z_c) \cos \frac{r_c}{R} - R.$$

В свою очередь, форма межфазной поверхности полностью определялась функцией $h_c(x_c, y_c, t)$, и координаты каждой точки межфазной поверхности рассчитываются согласно выражениям:

$$x = R \frac{x_c}{r_c} \sin \frac{r_c}{R};$$

$$y = R \frac{y_c}{r_c} \sin \frac{r_c}{R};$$

$$z = (R + h_c) \cos \frac{r_c}{R} - R.$$

Таким образом, в представленной задаче являются неизвестными функции

$$h_c(x_c, y_c, t);$$

$$\varphi(x_c, y_c, z_c, t).$$

Для описания деформации поверхности с учётом её кривизны использовался метод асимптотического разложения функций в степенной ряд по величине $1/R$.

$$h_c(x_c, y_c, t) = \sum_{n=0}^{\infty} h_c^{(n)}(x_c, y_c, t) \frac{1}{R^n};$$

$$\varphi(x_c, y_c, z_c, t) = \sum_{n=0}^{\infty} \varphi^{(n)}(x_c, y_c, z_c, t) \frac{1}{R^n}.$$

Уравнение Лапласа для потенциала скорости выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} 0 &= \frac{\partial^2}{\partial x^2} (\varphi(x_c, y_c, z_c, t)) + \\ &+ \frac{\partial^2}{\partial y^2} (\varphi(x_c, y_c, z_c, t)) + \\ &+ \frac{\partial^2}{\partial z^2} (\varphi(x_c, y_c, z_c, t)) = \Delta x_c \frac{\partial \varphi}{\partial x_c} + \Delta y_c \frac{\partial \varphi}{\partial y_c} + \\ &+ \|\nabla x_c\|^2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x_c^2} + \|\nabla y_c\|^2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y_c^2} + \\ &+ 2 \left(\frac{\partial x_c}{\partial x} \frac{\partial y_c}{\partial x} + \frac{\partial x_c}{\partial y} \frac{\partial y_c}{\partial y} \right) \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x_c \partial y_c} + \frac{1}{\cos^2 \frac{r_c}{R}} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z_c^2} \end{aligned}$$

Полученные выражения позволили рассчитать распределения колебаний волн по поверхности сферы.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Расчёты проводились для капиллярных волн, возбуждаемых за счёт внешних ударно-волновых давлений. Исследования влияния ударно-волновых давлений проводились для отдельной гармоники возмущающей силы, которая как функция от координат в проекционной системе x_c, y_c, z_c и времени t определяется следующим образом:

$$\begin{aligned} P_{ext}(x_c, y_c, 0, t) &= \\ &= P_{ext,0} \cos(k_x x_c) \cos(k_y y_c) \cos(\omega t); \end{aligned}$$

где $P_{ext,0}$ – амплитуда возмущающей силы давления, Па; k_x, k_y – компоненты волнового числа капиллярных волн, m^{-1} ; ω – круговая частота акустических колебаний, s^{-1} .

Для указанного силового воздействия построены асимптотические решения уравнений с граничными условиями (1, 2, 4, 5).

Далее проанализированы профили поверхностных волн в момент достижения максимальной энергии поверхностного натяжения и нулевой скорости в зависимости от длины волны исходного возмущения и радиуса газового пузырька.

Анализ проводился на примере системы вода–воздух при нормальных условиях. Частота силового воздействия (его отдельной рассматриваемой гармоники) составляла 22 кГц.

Первоначально было проанализировано формирование поверхностных волн при различных радиусах пузырька. Цветные распределения функции h_c представлены на рисунке 2. Распределения построены для области $x_c = -0,6 \text{ мм} \dots 0,6 \text{ мм}$; $y_c = -0,6 \text{ мм} \dots 0,6 \text{ мм}$. Каждому значению величины h_c соответствует собственный цвет из палитры цветов радуги. Зелёный цвет соответствует нулевому значению. Красный цвет соответствует положительному значению. Синий цвет соответствует отрицательному значению. Модуль волнового числа капиллярной волны составляет 1,1 от резонансного значения.

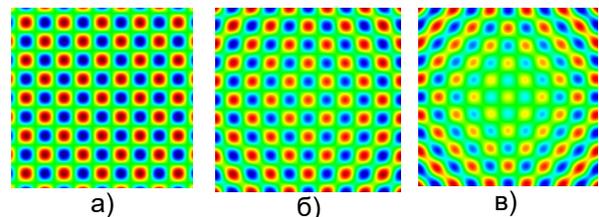


Рисунок 2 – Цветные распределения поверхностных возмущений при различных радиусах кривизны: а) бесконечный радиус (плоская поверхность), б) 3 мм, в) 2 мм

Figure 2 - Coloured distributions of surface disturbances at different radii of curvature: a) infinite radius (flat surface), b) 3 mm, c) 2 mm

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ КРИВИЗНЫ СФЕРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ИСКАЖЕНИЕ КАПИЛЛЯРНЫХ ВОЛН, ОБРАЗУЕМЫХ ПОД ДЕЙСТВИЕМ КАВИТАЦИИ

Согласно представленным цветным распределениям, искажение является существенным уже при радиусе, более чем в 10 раз превышающем резонансную длину капиллярной волны на частоте 22 кГц (3 мм много больше 200 мкм). При этом амплитуда оказывается уменьшенной в центре возбуждения капиллярной волны.

Далее представлены цветные распределения профилей капиллярной волны при различных волновых числах (радиус сферы равен 2 мм).

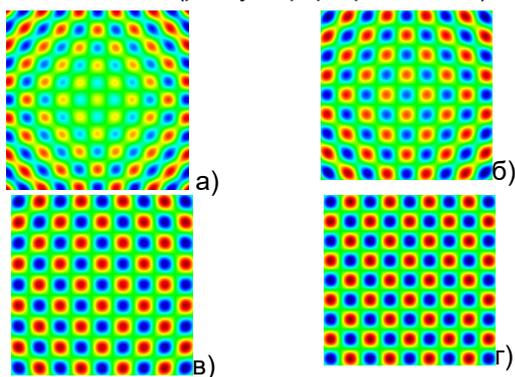


Рисунок 3 – Цветные распределения поверхностных возмущений при различных волновых числах: а) 1,1 от резонансного; б) 1,05 от резонансного; в) 1,03 от резонансного; г) 1,01 от резонансного

Figure 3 - Coloured distributions of surface disturbances at different wave numbers

Согласно представленным цветным распределениям, приближение длины волны во внешней силе к резонансной уменьшает искажения. Однако в реальном процессе искажения профиля волн, вызванные кривизной сферической поверхности, всё равно необходимо учитывать, поскольку спектр ударной волны (в пространстве и во времени) является широким (близок к «белому шуму»).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена гидродинамическая модель формирования капиллярных волн с учётом искажений, вызванных формой сферической поверхности. Разработан алгоритм приближённого аналитического решения уравнения, основанный на асимптотическом разложении по средней кривизне поверхности. Установлено, что искажения начальной поверхности в виде сферической кривизны не влияют на длину формируемых волн, однако приводят к локальной пространственной модуляции амплитуды вдоль поверхности.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 30 октября 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 06 мая 2024.

The article was received by the editorial board on 30 Oct 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 06 May 2024.

Искажение является существенным уже при радиусе, более чем в 10 раз превышающем резонансную длину капиллярной волны на частоте 22 кГц (3 мм много больше 200 мкм). При этом амплитуда оказывается уменьшенной в центре возбуждения капиллярной волны.

Приближение длины волны внешней возмущающей силы к резонансной для данной частоты уменьшает искажения.

Однако в реальном процессе искажения профиля волн, вызванные кривизной сферической поверхности, всё равно необходимо учитывать, поскольку спектр ударной волны (в пространстве и во времени) является широким (близок к «белому шуму»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Yusof, N.S.M., Anandan, S., Sivashanmugam, P., Flores, E.M.M. & Ashokkumar, M. (2019). A correlation between cavitation bubble temperature, sonoluminescence and interfacial chemistry. *Ultrasonics Sonochemistry*, 85, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.105988>.
2. Krasil'nikov, V.A. & Krylov, V.V. (1984). *Introduction to physical acoustics*. Nauka. 403 с. (in russ.).
3. Golykh, R.N. (2020). Increasing the efficiency of ultrasonic oscillations on the processes in systems with liquid phase : autoref. dis. ... kand. tehn. nauk. (in russ.).
4. Naidji, B., Hallez, L., Taouil, A.E., Rebetez, M. & Hihn, J.-Y. (2017). Influence of pressure on ultrasonic cavitation activity in room temperature ionic liquids: An electrochemical study. *Ultrasonics Sonochemistry*, 54, 129-134. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.02.007>.
5. Mamvura, T.A., Iyuke, S.E. & Paterson, A.E. (2020). Energy changes during use of high-power ultrasound on food grade surfaces. *South African Journal of Chemical Engineering*, 62-73. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2017.12.001>.
6. Zhao, S., Yao, C., Zhang, Q., Chen, G. & Yuan, Q. (2019). Acoustic cavitation and ultrasound-assisted nitration process in ultrasonic microreactors: The effects of channel dimension, solvent properties and temperature. *Chemical Engineering Journal*, 374, 68-78. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.05.157>.
7. King, W.G., Lee, M.D., Affam, A.C., Chung, W.C., Swee, I.W.C. & Adebayo, J.O. (2019). Application of hybrid ultrasonic cavitation/adsorption and coagulation for treatment of palm oil mill effluent. *Nucleation and Atmospheric Aerosols*. <https://doi.org/10.1063/1.5117068>.

Информация об авторах

Р. Н. Голых – д.т.н., профессор кафедры «Методов и средств измерений и автоматизации» БТИ АлтГТУ.

В. Д. Минаков – аспирант БТИ АлтГТУ.

Information about the authors

R.N. Golykh - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of "Methods and Means of Measurement and Automation" of BTI AltSTU.

V.D. Minakov - postgraduate student of BTI AltSTU.



Научная статья
2.6.17. Материаловедение (технические науки)
УДК621.793.79

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.030

 EDN: OCJLCW

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЛАВА, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ

Роман Евгеньевич Крюков¹, Алексей Романович Михно²,
Сергей Валерьевич Коновалов³, Ирина Алексеевна Панченко⁴,
Илья Алексеевич Махнев⁵

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 konovalov@sibsiu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4809-8660>

⁴ i.r.i.ss@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1631-9644>

⁵ ilya.makhnev.02@bk.ru

Аннотация. В настоящее время одной из основных проблем, возникающих при электродуговой наплавке широко распространенными порошковыми проволоками, являются сложности обеспечения стабильной структуры, присутствие пор и дефектов структуры, что, соответственно, приводит к постепенному ухудшению ресурса наплавляемых изделий. В представленных результатах исследования проблему предлагается решить получением порошковой проволоки, наполненной высокоэнтропийным сплавом, и ее дальнейшим наплавлением на подложку. В результате выполнения проекта проведен аналитический расчет элементного состава высокоэнтропийных проволок состава Co-Cr-Fe-Mn-Ni, затем получена композиция высокоэнтропийных проволок из них и проведено наплавление на стальную основу. Для изготовления высокоэнтропийных проволок использовались порошкообразные материалы, такие как хром ПХ-1С по ТУ 14-1-1474-75, марганец МР-0 по ГОСТ 6008-82, никель ПНК 1Л5 по ГОСТ 9722-97, кобальт ПК-1у по ГОСТ 9721-79. Состав шихты брался из расчета 25 % всех используемых элементов. Основой порошковой проволоки являлась оболочка из стали 08ГС размером 14×0.6 мм. Диаметр изготавливаемой проволоки составлял 4.2 мм. Наплавка исследуемого состава осуществлялась в 5 слоев под флюсом марки АН-348А с использованием сварочного трактора АСАW-1250. В ходе реализации проекта выполнен анализ химического состава наплавленного слоя, всесторонний анализ состава неметаллических включений наплавленного слоя, а также проанализировано изменение параметров микротвердости наплавленного покрытия. Выполнение исследования позволит достичь приоритетные результаты в области получения наплавочных материалов из высокоэнтропийных сплавов, обладающих свойствами, приближенными или превосходящими свойства изделий, получаемых традиционными технологиями.

Ключевые слова: порошковая проволока, электродуговая наплавка, микротвёрдость, 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: Исследование сплава, полученного методом дуговой наплавки высокоэнтропийной порошковой проволокой / Р. Е. Крюков [и др.] // Ползуновский вестник. 2024. № 2, С. 228–222. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.030. EDN: <https://elibrary.ru/OCJLCW>.

Original article

INVESTIGATION OF AN ALLOY PRODUCED BY THE METHOD OF ARC SURFACE WELDING WITH HIGH ENTROPY FLUID WIRE

Roman E. Kryukov ¹, Alexey R. Mikhno ², Sergey V. Konovalov ³,
Irina A. Panchenko ⁴, Ilya A. Makhnev 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 konovalov@sibsiu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4809-8660>

⁴ i.r.i.ss@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1631-9644>

⁵ ilya.makhnev.02@bk.ru

Abstract. At present, one of the main problems is the detection of impurities in the melt with widely used powder fibers, the complexity is a reliably stable structure, the presence of pores and defect structures, which, accordingly, leads to a gradual deterioration in the content of the deposited products. In the presented studies, the problem of detecting powder dust, the occurrence of a high-entropy alloy, and its excess by deposition on the substrate was revealed. As a result of the project implementation, an analytical calculation of the elemental composition of high-entropy wires of Co-Cr-Fe-Mn-Ni composition was carried out, then a composition of high-entropy wires was obtained from them and deposition on a steel base was carried out. For the manufacture of high-entropy wires, powdered materials were used such as: chromium PKh-1S according to TU 14-1-1474-75, manganese MP-0 according to GOST 6008-82, nickel PNK 1L5 according to GOST 9722-97, cobalt PK-1u according to GOST 9721 -79. The charge composition was taken at the rate of 25% of all used elements. The basis of the flux-cored wire was a sheath made of 08PS steel with a size of 14 × 0.6 mm. The diameter of the produced wire is 4.2 mm. Surfacing of the investigated composition was carried out in 5 layers under the AN-348A flux using an ASAW-1250 welding tractor. In the course of the project implementation, the analysis of the chemical composition of the deposited layer, a comprehensive analysis of the composition of non-metallic inclusions of the deposited layer, and the change in the microhardness parameters of the deposited coating were analyzed. The implementation of the study will allow obtaining priority results in the field of obtaining surfacing materials from high-entropy alloys with properties that are close or superior to those of products obtained by traditional technologies.

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., Konovalov, S.V., Panchenko, I.A. & Makhnev, I.A. (2024). Investigation of an alloy produced by the method of arc surface welding with high entropy fluid wire. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 228-222. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.02.030. EDN: <https://OCJLCW>.

ВВЕДЕНИЕ

Высокоэнтропийные сплавы (ВЭС) определяются как сплавы, состоящие из пяти или более основных элементов с элементарным содержанием, как правило, в пределах от 5 до 35 ат. %. В последнее время было разработано несколько систем сплавов с простой кристаллической структурой и замечательными свойствами [1]. ВЭС получают признание за то, что они состоят из множества различных микроструктур: однофазные ГЦК, ОЦК или ГПУ [2] и даже больше сложные многофазные микроструктуры [3]. Следовательно, эти сплавы вызвали значительный исследовательский интерес благодаря своим многообещающим свойствам, наблюдаемым в широком диапазоне температур и химической среды. Например,

пятикомпонентный эквимольный сплав CrMnFeCoNi обладает исключительной вязкостью разрушения более 200 МПа*м^{1/2} при криогенных температурах, что делает сплав идеальным материалом для низкотемпературных применений.

Стандартные способы изготовления ВЭС включают порошковую металлургию [4], обычное литье [5], и аддитивное производство (АП) [6].

Одними из последних широко распространенных методов стали те, которые основаны на термоядерном синтезе, и могут быть классифицированы как электронно-лучевые [7] и лазерные [8] плавления в порошковом слое, а также аддитивное производство с проволочной дугой (WAAM) [9]. Преимущества электронно-лучевого и лазерного способа сплавления включают меньший размер зерна изготовленных деталей,

что объясняется меньшими размерами источника тепла и с более быстрой скоростью охлаждения. Недостатком порошковой плавки в случае ВЭС является проблема получения порошков с высокоэнтропийным составом, т.е. отдельный порошок уже должен иметь состав ВЭС для достижения однородного фазового состава в конечном продукте.

Один из наиболее перспективных методов является WAAM метод [10], рентабельный процесс, в котором плавление материала индуцируется электрической дугой. Имеющаяся в продаже сварочная проволока может использоваться в качестве исходного сырья для WAAM, обходя высокую стоимость и потенциальные проблемы безопасности, связанные с металлическими порошками. Стоит также отметить, что порошковая проволока выгоднее, чем сплошная [11], в связи с трудностями производства последней. Главными недостатками этих способов является ограничение производства присадочного материала определенного химического состава. Таким образом, в настоящей работе предлагается новый подход для объемного изготовления ВЭС с использованием дуговой наплавки, где в качестве исходного сырья используется специально разработанная металлическая порошковая проволока.

МЕТОДЫ

Изготовление проволоки проводилось на лабораторной установке НПЦ «Сварочные процессы и технологии» по технологии с пропуском через фильеры. Диаметр изготавливаемой проволоки 4,2 мм, оболочка выполнена из ленты 08пс 14*0.6 мм.

Изготовление порошковой проволоки осуществляли с использованием порошкообразных материалов: хрома ПХ-1С по ТУ 14-1-1474-75, марганца МР-0 по ГОСТ 6008-82, никеля ПНК 1Л5 по ГОСТ 9722-97, кобальта ПК-1у по ГОСТ 9721-79. Состав шихта брался из расчета 25 % всех используемых элементов. Наплавка разработанной проволоки проводилась под высококремнистым марганцевым флюсом АН-348а по ГОСТ 9087-81, который обеспечивает хорошее формирование, малую склонность к образованию пор и удовлетворительную отделимость шлаковой корки от наплавленного металла. В качестве подложки была использована пластина из стали 09Г2С размером 20*70*500 мм.

Наплавка исследуемых образцов осуществлялась с использованием режима наплавки, рекомендованного по ГОСТ 26101-84, сила тока 450А, напряжение 28В, скорость наплавки 15 см/мин с использованием сварочного трактора ASAW-1250.

Химический состав исследуемых образцов определяли рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 и атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-71. Определение химического состава наплавленного металла проводили химическими методами: на содержание углерода – по ГОСТ 12344-2003, серы – по ГОСТ 12345-2001 и фосфора – по ГОСТ 12347-77.

Изучение твердости полученного образца проводилось с использованием микротвердомера HVS-1000 по Микро-Виккерсу ГОСТ 9450-76 путём вдавливания алмазной пирамидки. Испытательная нагрузка – 1 кг, длительность нагрузки 10 с., шаг измерения 2 мм. Схема проведения исследования микротвердости представлена на рисунке 1.

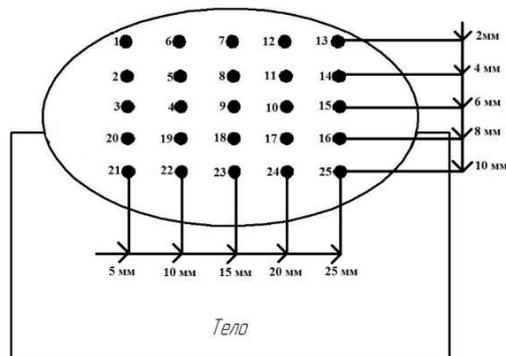


Рисунок 1 – Схема измерения микротвердости
Figure 1 - Microhardness measurement scheme

С использованием сканирующего электронного микроскопа КУКУ EM6900 (Лаборатория электронной микроскопии и обработки изображений «СибГИУ») были проведены исследования состава неметаллических включений наплавленных образцов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

При проведении процесса наплавки первых слоев (рисунок 2.) были выявлены поверхностные дефекты (поры), которые при проведении последующей наплавки и корректировке режима наплавки были устранены.

Результаты химического анализа (таблица 1) указывают на то, что полученный с использованием разработанной порошковой проволокой наплавленный металл состоит в основном из 70 % Fe и 30 % легирующих элементов (Mn, Cr, Ni, Co).

Результаты измерения микротвердости наплавленного образца (таблица 2) указывают на то, что твердость наплавленного слоя немного выше, чем у основного металла (стали 09Г2С), что, в свою очередь, будет способствовать увеличению износостойкости и использованию данного материала в компонентах, подверженных повышенной степени износа.

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 2 2024

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЛАВА, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ

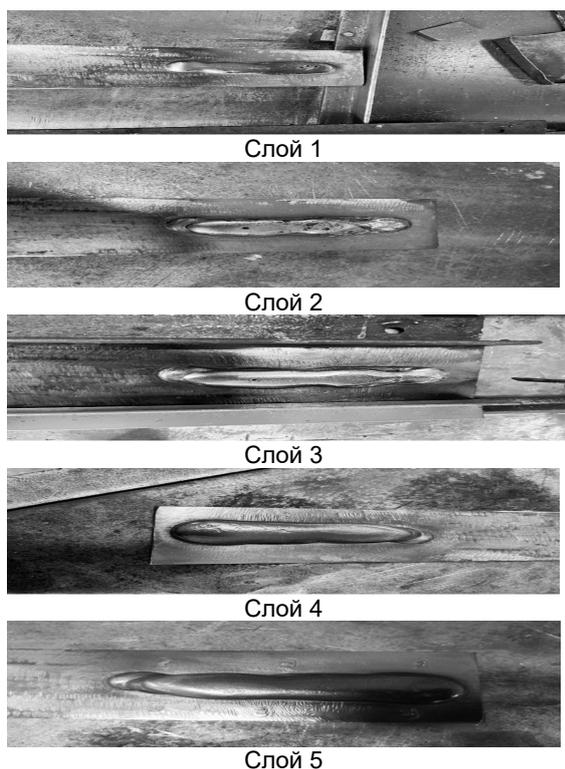


Рисунок 2 – Внешний вид наплавленных образцов

Figure 2 - Appearance of deposited samples

Таблица 1 – Рентгенофлуоресцентный анализ исследуемого образца

Table 1 - X-ray fluorescence analysis of the test sample

Массовая доля элементов, %											
C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	V	Co	Al	S	P	
0,09	0,38	5,13	6,43	8,01	0,006	0,003	8,42	0,051	<0,002	0,055	

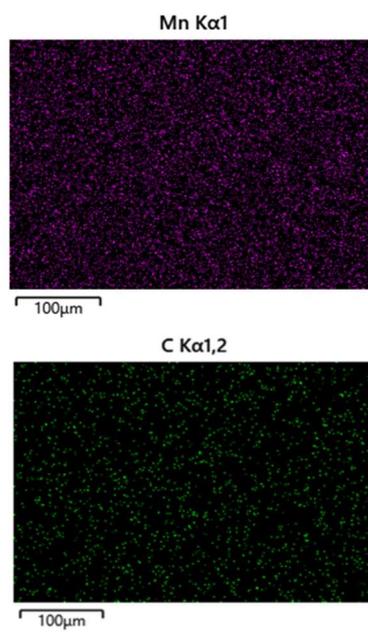
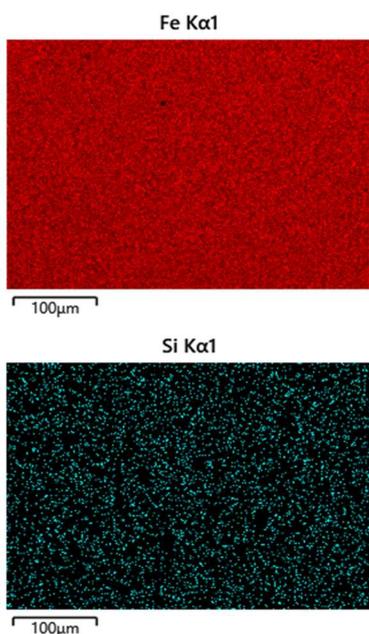


Рисунок 4 – Карты распределения неметаллических включений в подложке из стали 09Г2С

Figure 4 - Distribution maps of non-metallic inclusions of the 09G2S steel substrate

Таблица 2 – Результаты измерения микротвердости наплавленного слоя

Table 2 - The results of measuring the microhardness of the deposited layer

Основной металл, HV	Среднее значение микротвердости, HV	Min значение, HV	Max значение, HV
145,4	167,6	149,3	337,5

Перед проведением оценки состава неметаллических включений наплавленных слоев были проведены исследования основного металла (подложки) из стали 09Г2С (рисунок 3, 4, таблица 3). Результаты исследований указывают на небольшую загрязненность стали неметаллическими включениями.

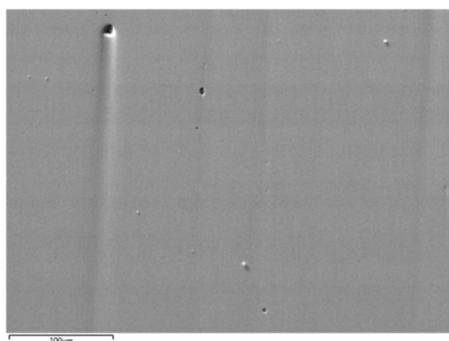


Рисунок 3 – Электронно-микроскопическое изображение поверхности подложки из стали 09Г2С

Figure 3 - Electron microscopic image of the surface of the substrate from steel 09G2S

Таблица 3 – Результаты анализа элементного состава участка поверхности подложки, электронно-микроскопическое изображение которого приведено на рисунке 3

Table 3 - The results of the analysis of the elemental composition of a section of the substrate surface, an electron microscopic image of which is shown in figure 3

Элемент	Вес %	Сигма вес %	Атом %
C	4,08	0,29	16,46
Si	0,28	0,03	0,48
Mn	0,49	0,03	0,43
Fe	95,15	0,29	82,63
Всего	100		100

При проведении анализа состава неметаллических включений (таблица 4) выявлено, что в составе неметаллического включения в большей степени присутствуют следующие элементы: O, Al, Fe.

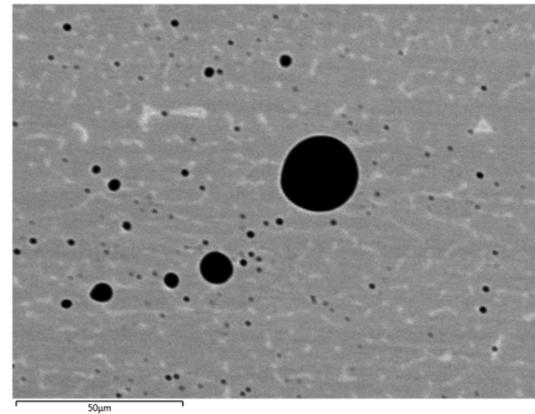


Рисунок 5 – Электронно-микроскопическое изображение поверхности наплавленного слоя
Figure 5 - Electron microscopic image of the surface of the deposited layer

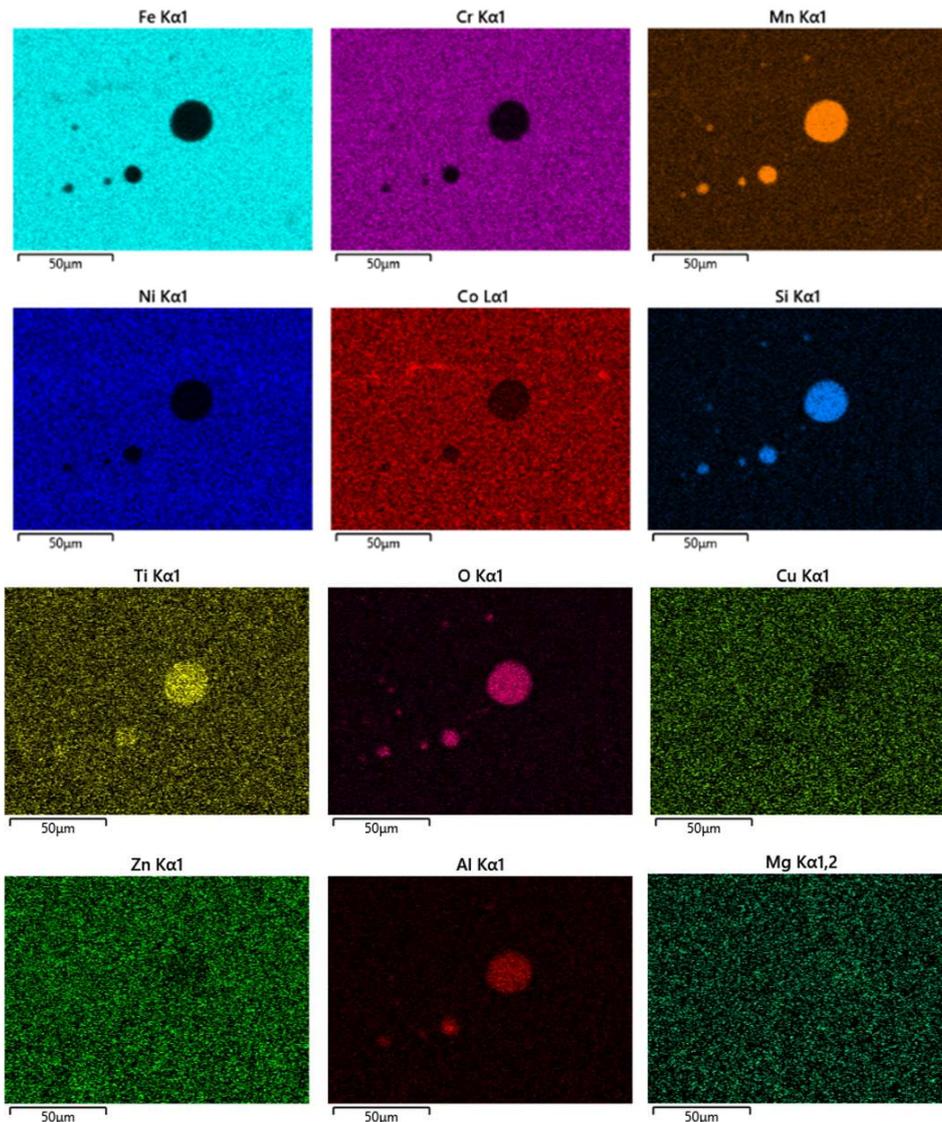


Рисунок 6 – Карты распределения атомов металлов наплавленного слоя
Figure 6 - Distribution maps of metal atoms of the deposited layer

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЛАВА, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ

Таблица 4 – Результаты анализа элементного состава неметаллического включения в подложке из стали 09Г2С, карта распределения которого приведена на рисунке 4

Table 4 - The results of the analysis of the elemental composition of a non-metallic inclusion in a substrate made of 09G2S steel, the distribution map of which is shown in figure 4

Элемент	Вес, %	Сигма вес, %	Атом. вес, %
C	4,50	0,52	9,91
O	23,79	0,26	39,38
Mg	4,87	0,08	5,31
Al	23,46	0,34	23,03
Si	0,36	0,03	0,34
S	2,53	0,04	2,09
Ca	4,14	0,05	2,73
Mn	1,71	0,04	0,82
Fe	34,41	0,27	16,32
Всего	100,00		100,00

Таблица 5 – Результаты анализа элементного состава участка наплавленного слоя, электронно-микроскопическое изображение, которого приведено на рисунке 5

Table 5 - Results of the analysis of the elemental composition of the deposited layer section, electron microscopic image, which is shown in figure 5

Элемент	Вес, %	Сигма вес, %	Атом. вес, %
C	4,65	0,17	18,02
O	1,7	0,05	4,95
Al	0,27	0,02	0,46
Si	0,87	0,02	1,45
Ti	0,06	0,01	0,06
Cr	7,05	0,02	6,32
Mn	6,44	0,02	5,46
Co	0,33	0,02	0,26
Ni	7,11	0,03	5,64
Co	6,49	0,04	3,15
Fe	65,04	0,13	54,24
Всего	100,00		100,00

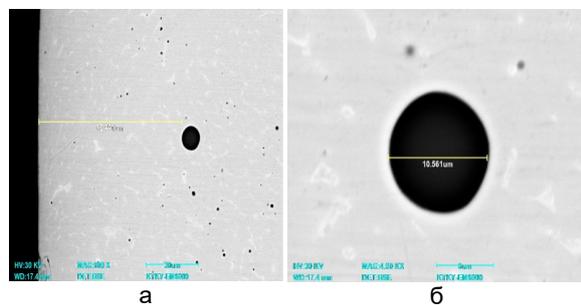


Рисунок 7 – Электронно-микроскопическое изображение неметаллического включения на глубине 80 мкм при увеличении: а – х800, б – х3000

Figure 7 - Electron microscopic image of a non-metallic inclusion at a depth of 80 μm with magnification: a - x800, b - x3000

После проведения оценки загрязненности подложки из стали 09Г2С неметаллическими включениями были проведены исследования загрязненности наплавленного слоя (рисунок 5, 6; таблица 5).

При этом стоит отметить, что в наплавленном слое были выявлены достаточно крупные неметаллические включения размером 10,56 мкм (рисунок 7).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате проделанной работы показано, что получение высокоэнтропийного наплавленного покрытия методом наплавки порошковой проволоки не способствует получению эквимольного состава в связи с тем, что порошковая проволока изначально состоит из 70–80 % стальной оболочки.

2. Полученное экспериментальным путем покрытие имеет довольно низкую твердость по отношению к эквимольным высокоэнтропийным сплавам

3. Присутствующие в наплавленном покрытии неметаллические включения в основном состоят из соединений: Mn, Si, Ti, Al, и O.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. K. Wu, N. Ding, T. Yin, M. Zeng, Z. Liang. Effects of single and double pulses on microstructure and mechanical properties of weld joints during high-power double-wire GMAW, *J. Manuf. Process.* 35 (2018) 728–734. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2018.08.025>.

2. A. Takeuchi, K. Amiya, T. Wada, K. Yubuta, W. Zhang. High Entropy Alloys with a Hexagonal Close-Packed Structure Designed by Equi-Atomic Alloy Strategy and Binary Phase Diagrams, *JOM.* 66 (2014) 1984–1992. <https://doi.org/10.1007/s11837-014-1085-x>.

3. Структура и свойства системы «покрытие ВЭС Кантора (Mn-Fe-Cr-Co-Ni) / подложка (сплав 5083)» / С.В. Коновалов, М.О. Ефимов, И.А. Панченко, Ю.А. Шлярова // *Известия Алтайского государственного университета.* 2023. № 1(129). С. 37–43. DOI : 10.14258/izvasu(2023)1-05.

4. W. Ji, W. Wang, H. Wang, J. Zhang, Y. Wang, F. Zhang, Z. Fu. Short communication, *Intermetallics.* 56 (2015). 24–27. <https://doi.org/10.1016/j.intermet.2014.08.008>.

5. Обзор исследований сплавов, разработанных на основе энтропийного подхода / З.Б. Батаева, А.А. Руктуев, И.В. Иванов [и др.] // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты).* 2021. Т. 23, № 2. С. 116–146. DOI : 10.17212/1994-6309-2021-23.2-116-146.

6. Влияние электронно-пучковой обработки на дефектную субструктуру высокоэнтропийного сплава системы Co - Cr - Fe - Mn - Ni / К.А. Осинцев, В.Е. Громов, С.В. Воробьев [и др.] // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия.* 2022. Т. 65, № 4. С. 254–260. DOI : 10.17073/0368-0797-2022-4-254-260.

7. Влияние облучения импульсным электронным пучком на структуру поверхности неэквивалентного высокоэнтропийного сплава системы Al–Co–Cr–Fe–Ni / К.А. Осинцев, В.Е. Громов, С.В. Коновалов [и др.] // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2021. № 8. С. 76–81. DOI 10.31857/S1028096021080112.

8. Влияние фазовых превращений в процессе электронно-лучевой 3D-печати и последующей термической обработки на закономерности пластической деформации и разрушение образцов высокоазотистой Cr-Mn-стали / Е.Г. Астафурова, К.А. Реунова, С.В. Астафуров [и др.] // Известия вузов. Физика. 2021. Т. 64, № 7(764). С. 10–17. DOI : 10.17223/00213411/64/7/10.

9. Яковлев А.В. Перспективы и технология развития WAAM / А.В. Яковлев, Г.С. Лебедев, О.Р. Лузанов // Актуальные проблемы авиации и космонавтики : Сборник материалов VIII международной научно-практической конференции, посвященной Дню космонавтики. В 3-х томах, Красноярск, 11–15 апреля 2022 года / Под общей редакцией Ю.Ю. Логинова. Том 1. Красноярск : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева", 2022. С. 560–563.

10. A Review of Challenges for Wire and Arc Additive Manufacturing (WAAM) / L. Huang, X. Chen, S. Konovalov [et al.] // Transactions of the Indian Institute of Metals. 2023. No. 6/н. Р. 1–2. DOI : 10.1007/s12666-022-02823-y.

11. Zavadveev A., Klapatyuk A., Baudin T., MacDonald E., Mohan D., Oliveira J., Gajvoronskiy A., Poznyakov V., and others. Non-equimolar Cantor high entropy alloy fabrication using metal powder cored wire arc additive manufacturing, Additive Manufacturing Letters (2023), doi: <https://doi.org/10.1016/j.addlet.2023.100124>.

Информация об авторах

Р. Е. Крюков – доктор технических наук, доцент кафедры «Металлургии чер-

ных металлов» Сибирского государственного индустриального университета.

А. Р. Михно – аспирант, директор НПЦ «Сварочные процессы и технологии» Сибирского государственного индустриального университета.

С. В. Коновалов – доктор технических наук, профессор, проректор по научной и инновационной деятельности Сибирского государственного индустриального университета.

И. А. Панченко – кандидат технических наук, доцент, заведующий научной лабораторией «Лаборатория электронной микроскопии и обработки изображений» Сибирского государственного индустриального университета.

И. А. Махнев – обучающийся гр. МПМ-20 Сибирского государственного индустриального университета.

Information about the authors

R.E. Kryukov - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Metallurgy of Ferrous Metals, Siberian State Industrial University.

A.R. Mikhno - post-graduate student, director of SPC "Welding processes and technologies" of the Siberian State Industrial University.

S.V. Konovalov - Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for Research and Innovation Activities of the Siberian State Industrial University.

I.A. Panchenko - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Scientific Laboratory "Laboratory of Electron Microscopy and Image Processing" of the Siberian State Industrial University.

I.A. Makhnev - student gr. MPM-20 Siberian State Industrial University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 30 октября 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 06 мая 2024.

The article was received by the editorial board on 30 Oct 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 06 May 2024.



Научная статья
2.6.17. Материаловедение (технические науки)
УДК67.02:666.655

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.031

 EDN: UEMGLI

О ВЛИЯНИИ ТЕРМООБРАБОТКИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИТОВ СИСТЕМЫ «ЦИРКОНАТ-ТИТАНАТ СВИНЦА – ФОСФАТНОЕ СВЯЗУЮЩЕЕ»

Глеб Александрович Кошкин ¹, Чир Ген Пак ², Виктор Викторович Кикот ³,
Андрей Евгеньевич Розен ⁴

^{1, 2, 3, 4} Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

^{1, 3} Научно-исследовательский институт физических измерений, Пенза, Россия

¹ gl.koshkin@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8353-7812>

² v.g.pak@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2877-7298>

³ vkfax@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1258-2119>

⁴ aerozen@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3362-9617>

Аннотация. В работе экспериментально подтверждена возможность изменения диэлектрических и пьезоэлектрических характеристик пьезоэлектрических композиционных материалов на основе цирконата-титаната свинца и фосфатных связующих посредством термической обработки со скоростью нагрева не более 100 °С/ч. Из двух серий композиционных материалов на основе пьезокерамики марки ЦТС-19 и различных фосфатных связующих (ортофосфорной кислоты и алюмохромфосфатного связующего) получены образцы типоразмера «диск» ОСТ 11 0444-87, подвергнутые термической обработке с максимальной температурой 300 °С, 500 °С, 700 °С и не подвергнутые термической обработке. Образцы металлизированы с использованием низкотемпературного проводящего материала на органическом связующем подвергнуты поляризации в постоянном электрическом поле, искусственному и естественному старению. У состаренных образцов установлены значения плотности, удельного электрического сопротивления, механической добротности, тангенса угла диэлектрических потерь, диэлектрической проницаемости и пьезомодуля с использованием методов ОСТ 11 0444-87. На основании полученных результатов описаны механизмы взаимодействия пьезокерамических материалов на основе цирконата-титаната свинца и фосфатных связующих в зависимости от максимальной температуры термической обработки и вида связующего (незамещенной и частично замещенной ортофосфорной кислоты). Установлено, что основные явления, протекающие при нагреве в рассматриваемой системе, – прямое взаимодействие ортофосфорной кислоты и керамики, поликонденсация и полимеризация связующего вещества и (при высоких температурах) испарение и конденсация оксида свинца. Совокупность указанных явлений обуславливает достижение наилучших значения пьезоэлектрических и диэлектрических характеристик в диапазоне максимальных температур термической обработки от 300 до 500 °С. Дальнейшая оптимизация технологических режимов термической обработки предполагает использование методов дифференциально-термического и рентгеноструктурного анализа.

Ключевые слова: пьезоэлектрический композиционный материал, цирконат-титанат свинца, фосфатное связующее, ортофосфорная кислота, алюмохромфосфатное связующее, термическая обработка, пьезомодуль, диэлектрическая проницаемость, диэлектрические потери, механическая добротность, удельное электрическое сопротивление, плотность.

Для цитирования: О влиянии термообработки на характеристики композитов системы «цирконат-титанат свинца – фосфатное связующее» / Г. А. Кошкин [и др.] // Ползуновский вестник. 2024. № 2, С. 235–242. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.031. EDN: <https://elibrary.ru/UEMGLI>.

Original article

ON EFFECT OF HEAT TREATMENT ON CHARACTERISTICS OF COMPOSITES OF "ZIRCONATE-LEAD TITANATE – PHOSPHATE BINDER" SYSTEM

Gleb A. Koshkin ¹, Chir Gen Pak ², Viktor V. Kikot ³, Andrey Ye. Rozen ⁴

^{1, 2, 3, 4} Penza State University, Penza, Russia

^{1, 3} Science and Research Institute for Physical Measurements, Penza, Russia

¹ gl.koshkin@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8353-7812>

² v.g.pak@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2877-7298>

³ vkfax@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1258-2119>

⁴ aerozen@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3362-9617>

© Кошкин Г. А., Пак Ч. Г., Кикот В. В., Розен А. Е., 2024

Abstract. The possibility to control the dielectric and piezoelectric characteristics of composite materials based on lead zirconate-titanate and phosphate binders by thermal treatment with a heating speed of no more than 100 °C per hour is proven experimentally at the present work. Two series of composite materials based on TsTS-19 (PZT-19) and different phosphate binders (orthophosphoric acid and aluminum-chromium phosphate binder) were used in preparation of "disc" type specimen according to standard OST 11 0444-87, which were untreated and thermally treated with a maximum temperature of 300 °C, 500 °C, 700 °C. Specimens were then metallized with low-temperature conductive material based on organic binder, poled in constant electric field, artificially and naturally aged. Aged specimen were investigated for density, resistivity, mechanical quality factor, dielectric loss tangent, relative dielectric permittivity, and piezoelectric modulus according to methods given in standard OST 11 0444-87. Based on the obtained results, mechanisms of interaction between lead zirconate-titanate-based piezoelectric ceramic materials and phosphate binders (unnaturalized and partially neutralized orthophosphoric acid) were proposed. It was determined that main processes occurring in investigated system under heating are direct interaction between orthophosphoric acid and ceramics, polycondensation and polymerization of a binding agent, and (at high temperatures) evaporation and condensation of lead oxide. Combination of aforementioned processes leads to achieving of the most desirable values of piezoelectric and dielectric characteristics at maximum temperatures of thermal treatment in range between 300 and 500 °C. Further optimization of the technological regimes of thermal treatment requires the use differential thermal analysis and X-ray diffraction.

Keywords: piezoelectric composite material; lead zirconate-titanate; phosphate binder; orthophosphoric acid; aluminum-chromium phosphate binder; thermal treatment; piezoelectric modulus; relative dielectric permittivity; dielectric loss; mechanical quality factor; resistivity; density.

For citation: Koshkin, G.A., Pak, Ch.G., Kikot, V.V. & Rozen, A.Ye. (2024). On effect of heat treatment on characteristics of composites of "zirconate-lead titanate - phosphate binder" system. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 235-242. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.02.031. EDN: <https://UYVGZF>.

ВВЕДЕНИЕ

Ранее была предложена и подтверждена на практике возможность получения пьезоэлектрических композиционных материалов на основе фосфатных связующих и пьезокерамических наполнителей [1–4]. Для всех полученных образцов композиционных материалов характерны значительные диэлектрические потери – значение тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ составляет до 0,5, что делает подобные материалы неприменимыми в качестве чувствительных и исполнительных элементов датчиков-преобразующей аппаратуры. Обычно высокие диэлектрические потери обусловлены высокой проводимостью материала [5], но удельное электрическое сопротивление фосфатных пьезокомпозиций слабо отличается от электрического сопротивления спечённой керамики [1]. На основе исследования температурных и частотных зависимостей диэлектрических характеристик пьезоэлектрических композиций на фосфатной основе выдвинута гипотеза о том, что причиной высоких диэлектрических потерь фосфатных пьезокомпозиций является наличие в материале слабо связанных носителей заряда, обусловленное аморфной структурой продуктов взаимодействия фосфатных связующих и пьезокерамики [2].

Для фосфатных материалов при нагреве характерны фазовые переходы – дегидратация, полимеризация, поликонденсация, кристаллизация [6]. Чем выше температура термической обработки, тем более стабильные и стойкие к воздействию внешних факторов среды фазы образуются. В работе [7] на при-

мере материалов на основе фосфата алюминия установлено, что важную роль в процессах структурообразования фосфатных материалов играет скорость нагрева материала: при неизменной максимальной температуре нагрева стабильность образующихся фаз тем выше, чем ниже скорость нагрева. В частности, для материалов на основе фосфата алюминия в указанной статье в качестве критической скорости нагрева установлено 150 °C/ч: при более быстром нагреве образующиеся фазы являются водорастворимыми.

Исходя из этого, рационально предположить, что для пьезочувствительных фосфатных композиций также могут быть характерны фазовые переходы, приводящие к стабилизации структуры, выражающейся, кроме прочего, в снижении диэлектрических потерь после термической обработки. Также для более активных систем «связующее–наполнитель» снижение диэлектрических потерь должно происходить при менее высоких температурах, чем для менее активных при постоянной скорости нагрева заведомо ниже критической.

Для проверки указанных предположений в настоящей работе изготовлены и подвергнуты термической обработке образцы объёмных пьезоэлектрических композиций с пьезокерамическим порошком на основе цирконата-титаната свинца (ЦТС) в качестве наполнителя и ортофосфорной кислотой (ОФК) и алюмохромфосфатной связкой (АХФС) в качестве связующего.

МЕТОДЫ

Образцы пьезоэлектрического материала получены с использованием в качестве исходных

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 2 2024

О ВЛИЯНИИ ТЕРМООБРАБОТКИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИТОВ СИСТЕМЫ «ЦИРКОНАТ-ТИТАНАТ СВИНЦА – ФОСФАТНОЕ СВЯЗУЮЩЕЕ»

материалов пьезоэлектрической керамики марки ЦТС-19 ОСТ 11 0444-87, ОФК ГОСТ 6552-80 квалификации «ч» (концентрации 85 %) и АХФС ТУ 2143-015-49534204-2012. С целью исключения влияния режимов термической обработки электропроводного покрытия электроды на поверхности пьезоэлементов сформированы с использованием однокомпонентного эпоксидного токопроводящего клея термического отверждения, полимеризующегося при температуре не выше 150 °С.

ЦТС-19 получен дроблением пьезоэлементов, отбракованных по дефектам формы и внешнего вида, но полностью соответствующих требованиям стандарта к материалу ЦТС-19 в части пьезоэлектрических характеристик. Из раздробленного материала для применения в качестве наполнителя отсеяна фракция с размером частиц от 125 до 250 мкм.

Порошок ЦТС-19 разделён на две партии, в каждую из которых введено фосфатное связующее (ОФК и АХФС) в количестве 10 % сверх массы наполнителя. Полученная смесь тщательно перемешана для повышения однородности распределения связующего. Из формовочной массы отпрессованы под давлением 200 МПа заготовки-таблетки массой 1,25 г и диаметром 12,5 мм. Высота отпрессованных заготовок варьировалась от 1,85 до 1,99 мм. Отпрессованные заготовки высушены при температуре 150 °С в течение 8 ч.

Высушенные заготовки отшлифованы по плоскости до соотношения диаметра к толщине не менее 10:1 в соответствии с требованиями ОСТ 11 0444-87 к стандартным образцам типоразмера «диск». Отшлифованные диски разделены на 4 группы по 5 элементов: контрольную, не подвергнутую температурному воздействию, и экспериментальные, подвергнутые термической обработке с максимальной температурой нагрева 300, 500 и 700 °С. Скорость нагрева 100 °С/ч, время выдержки при максимальной температуре 30 мин, остывание по инерции вместе с печным оборудованием.

На образцы каждой группы нанесён металлizationный состав на основе эпоксидной матрицы, подвергнутый сушке при температуре 150 °С в течение 3 ч.

Образцы с нанесёнными электродами подвергнуты поляризации в электрическом поле напряжённостью 2 кВ/мм при температуре 260 °С (скорость нагрева и охлаждения не менее 1000 °С/ч) на установке «ПВС-5» (производства НКТБ «Пьезоприбор», г. Ростов-на-Дону). После поляризации образцы подвергнуты искусственному старению при температуре 150 °С в течение 2 ч и естественному старению в течение не менее

3 суток. Для состаренных образцов измерена кажущаяся плотность, диэлектрические и пьезоэлектрические характеристики.

Один из пяти образцов композита, полученного на АХФС без дополнительной термической обработки, разрушен в процессе поляризации из-за затекания проводящего материала в пору в материале, вызвавшего электрический пробой.

Измерение плотности ρ_m и основных электрических характеристик: относительной диэлектрической проницаемости K_{33}^T , тангенса угла диэлектрических потерь $\tan\delta$, пьезомодуля d_{31} , механической добротности Q_m – произведено согласно методикам ОСТ 11 0444-87, в том числе, с использованием прибора «Пьезо-П» (производства НКТБ «Пьезоприбор» г. Ростов-на-Дону). Также прибор «Пьезо-П» использован для получения и сохранения в численном виде амплитудно-частотных характеристик каждого из исследованных образцов.

Динамический метод резонанса–антирезонанса по ОСТ 11 0444-87, основанный на измерении частот электромеханического резонанса и антирезонанса и модуля комплексного сопротивления на частоте резонанса, полностью реализован и автоматизирован в программном обеспечении установки «Пьезо-П». Но на амплитудно-частотной характеристике (АЧХ) комплексной проводимости композиционных пьезоэлементов резонансные пики выражены крайне слабо, из-за чего не могут быть автоматически распознаны программным обеспечением. Поэтому в настоящей работе анализ АЧХ комплексной проводимости с установлением резонансных характеристик проведён в ручном режиме с использованием стороннего программного обеспечения для статистического анализа данных.

Расчёт d_{31} и Q_m проведён по следующим формулам [8]:

$$d_{31} = \frac{1,91 \cdot 10^{-6}}{\sqrt{\rho_m \cdot f_r D}} \sqrt{K_{33}^T \frac{\sigma_r}{1+1,45\sigma_r}}, \quad (1)$$

$$Q_m = \frac{1+1,5\sigma_r}{4\pi f_r C_0 R_r \sigma_r}, \quad (2)$$

где $\sigma_r = \frac{f_a - f_r}{f_r}$ – относительный резонансный промежуток,

f_r – частота электромеханического резонанса (максимума проводимости), Гц,

f_a – частота электромеханического антирезонанса (минимума проводимости), Гц,

C_0 – статическая электрическая ёмкость образца, пФ,

R_r – электрическое сопротивление на частоте резонанса, Ом,

D – частотозадающий размер (для образцов типоразмера «диск» – диаметр), м.

Величины удельного электрического сопротивления ρ_s образцов композиционного

материала рассчитаны на основе значений электрического сопротивления, установленных с использованием тераомметра Е6-13А при напряжении постоянного тока 100 В.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Графики АЧХ модуля комплексной проводимости $|Y|$ пьезоэлектрических композиционных элементов приведены на рисунке 1. В обозначении образцов буква «о» соответствует образцам, полученным с использованием в качестве связующего ОФК, «а» – АХФС. Далее приведён номер образца в партии и через дефис – максимальная температура термической обработки перед нанесением металлизации. Партия элементов на АХФС, не подвергнутая термической обработке, включает только 4 элемента, а не пять из-за разрушения одного из элементов в процессе поляризации.

Широта резонансных пиков свидетельствует о выраженности пьезоэлектрического эффекта: чем больше расстояние между минимумом и максимумом наиболее низкочастотного резонансного промежутка при неизменных размерах пьезоэлемента и чем выше пик резонанса, тем больше пьезомодуль, соответствующий частото задающему размеру. Также амплитуда резонансного пика пропорциональна механической добротности материала.

Для использованных в настоящей работе пьезоэлементов типоразмера «диск» частото задающим размером является диаметр, из-за чего наиболее низкочастотные колебания соответствуют растяжению-сжатию в плоскости перпендикулярной направлению поляризации и позволяют вычислить пьезомодуль d_{31} .

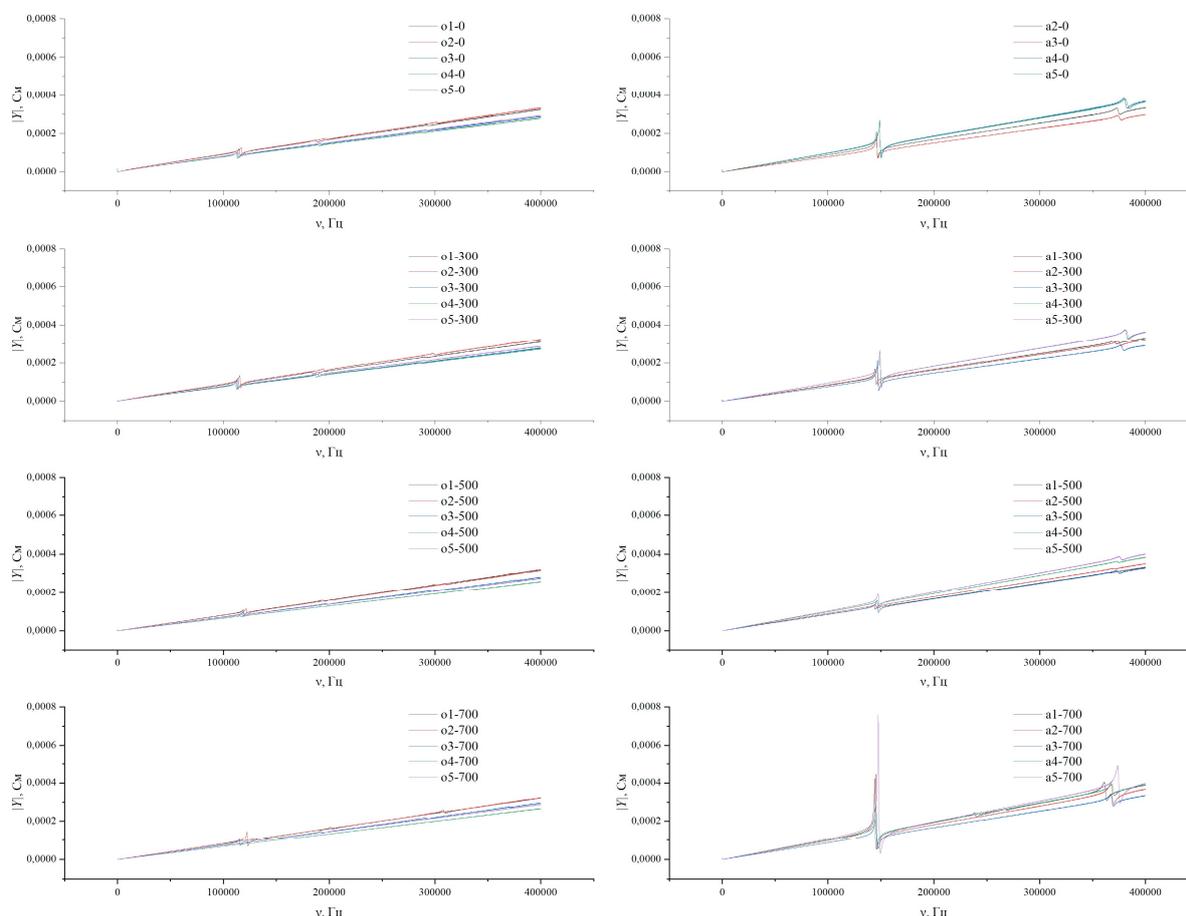


Рисунок 1 – АЧХ комплексной проводимости композиционных элементов: о1-0 – о5-0 – на ОФК без термической обработки, о1-300 – о5-300 – на ОФК после 300 °С, о1-500 – о5-500 – на ОФК после 500 °С, о1-700 – о5-700 – на ОФК после 700 °С; а1-0 – а4-0 – на АХФС без термической обработки, а1-300 – а5-300 – на АХФС после 300 °С, а1-500 – а5-500 – на АХФС после 500 °С, а1-700 – а5-700 – на АХФС после 700 °С

Figure 1 - Frequency spectra of composite specimens admittance: о1-0 – о5-0 – orthophosphoric acid (OPA) based thermally untreated, о1-300 – о5-300 – OPA based thermally treated at 300 °С, о1-500 – о5-500 – OPA based thermally treated at 500 °С, о1-700 – о5-700 – OPA based thermally treated at 700 °С; а1-0 – а4-0 – aluminum-chromium-phosphate binder (ACPB) based thermally untreated, а1-300 – а5-300 – ACPB based thermally treated at 300 °С, а1-500 – а5-500 – ACPB based thermally treated at 500 °С, а1-700 – а5-700 – ACPB based thermally treated at 700 °С

О ВЛИЯНИИ ТЕРМООБРАБОТКИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИТОВ СИСТЕМЫ «ЦИРКОНАТ-ТИТАНАТ СВИНЦА – ФОСФАТНОЕ СВЯЗУЮЩЕЕ»

Измеренные значения характеристик образцов пьезоэлектрического композита приведены в таблице 1. Расчёт погрешностей измерения значений характеристик произведён для доверительного интервала 0,95 при допуще-

нии, что характеристики образцов подчиняются нормальному распределению.

При расчёте погрешностей также учтено то, что в партии ах-0 имеется всего 4 образца.

Таблица 1 – Усреднённые значения характеристик поляризованных образцов

Table 1 - Mean values of poled specimen characteristics

Материал	$\rho_m, \text{ г/см}^3$	$d_{31}, \text{ пКл/Н}$	K_{33}^T	$\text{tg}\delta$	Q_m	$\rho_{э,} \text{ Ом}\cdot\text{м}$
ОФК0	$5,77\pm 0,1$	$36,8\pm 1,67$	$397,2\pm 40,9$	$0,2459\pm 0,0129$	$28,5\pm 1,6$	$(5,73\pm 3,44)\times 10^7$
АХФС0	$5,93\pm 0,07$	$23,41\pm 0,92$	$316,7\pm 38,6$	$0,1913\pm 0,0363$	$69,3\pm 14,6$	$(1,53\pm 0,71)\times 10^8$
ОФК300	$5,78\pm 0,1$	$31,11\pm 2,37$	$319,2\pm 34,4$	$0,1847\pm 0,0093$	$42,3\pm 4,7$	$(4,03\pm 2,38)\times 10^8$
АХФС300	$5,92\pm 0,07$	$19,42\pm 1,07$	$264,9\pm 32,8$	$0,0566\pm 0,0083$	$95,3\pm 14,9$	$(1,12\pm 0,23)\times 10^{10}$
ОФК500	$5,67\pm 0,16$	$23,66\pm 2,28$	$196,3\pm 18,9$	$0,0315\pm 0,0062$	$51,8\pm 11,3$	$(1,86\pm 0,44)\times 10^{10}$
АХФС500	$5,7\pm 0,09$	$20,8\pm 0,6$	$280,1\pm 24,7$	$0,068\pm 0,0099$	$62,1\pm 9$	$(1,44\pm 1,34)\times 10^{10}$
ОФК700	$5,9\pm 0,03$	$19,72\pm 2,48$	$195,8\pm 21,1$	$0,1263\pm 0,0144$	$71,9\pm 16,4$	$(1,33\pm 0,22)\times 10^8$
АХФС700	$5,97\pm 0,06$	$23,59\pm 5,1$	$278\pm 25,3$	$0,1253\pm 0,0256$	$118,4\pm 36,3$	$(1,26\pm 0,28)\times 10^8$

Для более наглядной визуализации данных таблицы 1 на рисунке 2 приведены графики зависимости характеристик пьезоматериалов от максимальной температуры термической обработки. Для всех величин, кроме удельного электрического сопротивления $\rho_{э,}$ масштаб оси ординат линейный, для $\rho_{э,}$ – логарифмический.

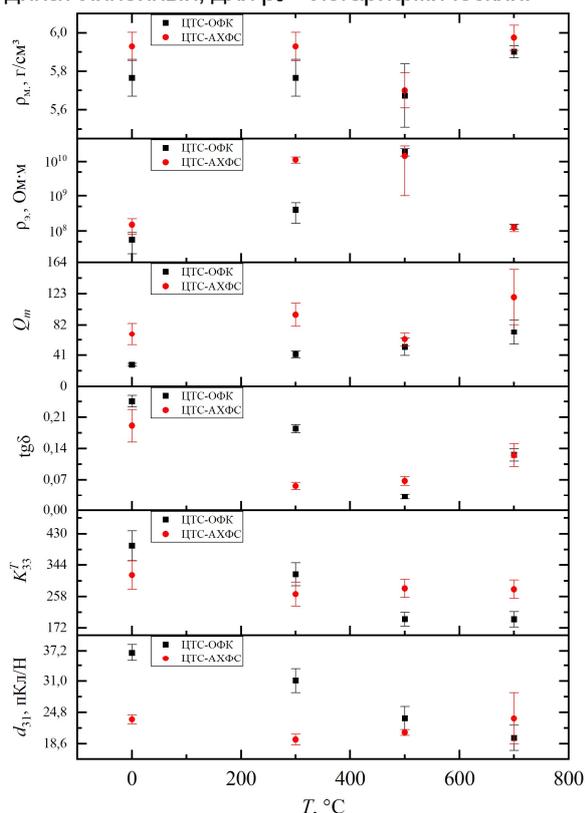


Рисунок 1 – Сводные данные по характеристикам образцов

Figure 1 - Combined data on specimen characteristics

ОБСУЖДЕНИЕ

Сводные данные, полученные по результатам экспериментальной работы, однозначно свидетельствуют о значительном влиянии тер-

мической обработки на пьезоэлектрические и диэлектрические характеристики композита.

Наибольшее сходство в зависимостях характеристик материала от температуры термической обработки проявляется для удельного электрического сопротивления и плотности. Минимум плотности и максимум сопротивления наблюдается для материалов, обработанных при 500 °С. Известно, что интенсивное испарение оксида свинца из материалов на основе ЦТС наблюдается только с температуры 700 °С [9]. Испарение и конденсация оксида свинца приводит к уплотнению и усадке материала, что проявляется в росте плотности после выдержки при 700 °С. Прямым подтверждением испарения свинца является видимое пожелтение образцов, которое может быть обусловлено только наличием свободного оксида свинца. Вместе с тем, оксид свинца PbO характеризуется пониженным в сравнении с пьезокерамикой удельным сопротивлением, составляющим в теории порядка $10^8 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, а присутствующий в дефектном слое, полученном после испарения и конденсации PbO_2 , имеет удельное сопротивление $10^{-4} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ [10]. Таким образом, нагрев материалов системы ЦТС – фосфатное связующее выше 700 °С приводит к появлению в системе нежелательных составляющих и снижению электрического сопротивления.

Снижение плотности материала и рост электрического сопротивления для материала, обработанного при 500 °С, обусловлено испарением кристаллизационной влаги, окончанием процессов фазообразования продуктов взаимодействия ЦТС и фосфатных вяжущих. На сходство процессов, протекающих при нагреве до 500 °С двух разных систем, указывают близкие средние значения плотности и сопротивления, при этом материал на

АХФС имеет значительно больший разброс значений сопротивления, что может свидетельствовать о незавершённости фазовых переходов в материале и наличии в некоторых образцах свободных носителей заряда.

Рост сопротивления после термической обработки при 300 °С с наибольшей вероятностью обусловлен удалением физически связанной воды и частичным закреплением свободных и слабо связанных носителей заряда на начальных стадиях поликонденсации и кристаллизации. Отсутствие значительных различий в ρ_m необработанного и обработанного при 300 °С материала указывает на незначительное влияние протекающих в системе процессов фазообразования.

Обусловленное выделением свободного оксида свинца уплотнение материала также является причиной роста механической добротности. В более плотном материале механические колебания встречают меньше преград для своего распространения, что ослабляет их затухание и, следовательно, приводит к росту Q_m . Аналогично, при снижении плотности наблюдается снижение механической добротности.

Наибольший практический интерес представляет динамика измерения $\text{tg}\delta$. Термическая обработка приводит к значительному снижению диэлектрических потерь в материалах на основе как ОФК, так и АХФС, что подтверждает исходное предположение о стабилизации фазового состава и структуры материала при нагреве. Более низкое исходное значение $\text{tg}\delta$ материала на основе АХФС и стремительное его падение после обработки при 300 °С обусловлены тем, что АХФС представляет собой частично затворённую систему, поликонденсация которой происходит при пониженных температурах во всём объёме связующего, в то время как взаимодействие ЦТС и ОФК ограничено малой поверхностью крупнодисперсных частиц пьезо-керамики. Резкое снижение $\text{tg}\delta$ материала на основе ОФК после 500 °С связано с меньшей склонностью фосфатов свинца, титана и циркония к образованию стеклофаз со слабо закреплёнными носителями электрического заряда. Наиболее вероятная причина роста диэлектрических потерь после нагрева до 700 °С – низкие диэлектрические характеристики выделяющегося оксида свинца.

Данные таблицы 1 и рисунка 2 подтверждают обратную зависимость между удельным электрическим сопротивлением и диэлектрическими потерями: чем выше сопротивление, тем ниже $\text{tg}\delta$. При этом для материалов, обработанных при 500 °С, наблюдается близость значений ρ_a (с большим разбросом измеренных

значений для материала на АХФС), но отсутствие пересечений доверительных интервалов значения $\text{tg}\delta$. Наиболее вероятно, что для материалов после 500 °С основную роль в формировании диэлектрических потерь играет не электропроводность, а особенности кристаллической структуры. Поэтому материалы на основе ЦТС и ОФК имеют, предположительно, более высокое содержание кристаллических продуктов реакции исходных компонентов.

Характер изменения K_{33}^T в интервале до 500 °С включительно аналогичен таковому для $\text{tg}\delta$. Рост ρ_a соответствует уменьшению количества носителей заряда и, следовательно, снижению ослабляющего влияния материала на внешнее электрическое поле, что и выражается в снижении K_{33}^T . Другой фактор изменения диэлектрической проницаемости – уменьшение объёмной доли пьезо-керамического наполнителя, реагирующего со связующим, причём незатворённая ОФК в этом случае обладает большей реакционной способностью по сравнению с АХФС, что может обусловить более интенсивное снижение объёмной доли пьезоэлектрика.

После обработки при 700 °С и завершения фазообразования основным фактором формирования диэлектрической проницаемости является уплотнение материала, лучше выраженное для более сложного по химическому составу и потому более реакционно-способного материала на основе АХФС.

Поперечная пьезочувствительность по заряду d_{31} зависит от количества и характеристик наполнителя, плотности керамического материала. Хотя в формуле (1) величина плотности материала стоит в знаменателе, т.е. снижение плотности должно сопровождаться ростом d_{31} , в реальности для пористых пьезоматериалов характерно значительное снижение поперечной чувствительности в сравнении со спечённой керамикой [1, 11]. При этом имеющиеся данные по поведению d_{31} пористых материалов рассматривают исключительно зависимость характеристик от пористости и не учитывают возможность протекания в пористом материале фазовых переходов, сопровождающихся, в том числе, изменением плотности составляющих при минимальном изменении пористости.

Для материалов на основе ОФК характерно монотонное снижение d_{31} с ростом максимальной температуры термической обработки при сохранении схожей величины разброса характеристики между образцами одной партии, высота и ширина резонансных промежутков при этом уменьшаются. Наиболее вероятная причина этого – интенсивное взаимодействие материала наполнителя с ОФК, сопровождающееся снижением объ-

О ВЛИЯНИИ ТЕРМООБРАБОТКИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИТОВ СИСТЕМЫ «ЦИРКОНАТ-ТИТАНАТ СВИНЦА – ФОСФАТНОЕ СВЯЗУЮЩЕЕ»

ёмной доли пьезокерамического наполнителя и связности между частицами керамики. Небольшой рост интенсивности резонансных пиков обусловлен в данном случае уплотнением материала.

Зависимость d_{31} материалов на основе АХФС от температуры термической обработки не имеет выраженной тенденции, но после минимума чувствительности материала, обработанного при 300 °С, наблюдается рост пьезомодуля. До 700 °С сохраняется небольшой разброс характеристик, обусловленный большей плотностью и однородностью материала. Для материала, обработанного при 700 °С, характерен как максимум d_{31} , так и наибольший разброс характеристик, а также сильнейшее различие между АЧХ проводимости образцов в пределах одной партии. Из этого и температурных зависимостей других характеристик следует, что для материалов на основе АХФС характерно отверждение посредством поликонденсации и полимеризации с менее выраженным взаимодействием с ЦТС. При высоких температурах для таких материалов характерно более интенсивное взаимодействие с выделяющимся оксидом свинца, сопровождающееся одновременно интенсивным уплотнением и ростом неоднородности материала.

Таким образом, анализ результатов эксперимента подтверждает гипотезу о возможности снижения посредством термической обработки диэлектрических потерь в материалах системы «ЦТС–фосфатное связующее». Полученные характеристики значительно отличаются от таковых для материалов, полученных в предыдущих работах, в которых нагрев и охлаждение образцов происходили со скоростью свыше 200 °С/ч.

Также результаты исследований позволяют выдвинуть следующий механизм отверждения в указанной системе:

- до 300 °С наблюдается испарение остатков физически связанной и части кристаллизационной воды без интенсивного взаимодействия компонентов,

- при температурах от 300 до 500 °С имеет место взаимодействие ОФК, в том числе входящей в состав сложных связующих, с ЦТС, удаление кристаллизационной воды, полимеризация и поликонденсация связующего и продуктов его взаимодействия с ЦТС,

- в интервале свыше 500 °С и до 700 °С происходит завершение химического взаимодействия и фазообразования,

- при 700 °С и выше преобладающим процессом становится массоперенос оксида свинца через газовую фазу, сопровождающийся уплот-

нением материала и ухудшением характеристик.

Для многокомпонентных материалов связующих на основе частично замещённой ОФК, таких как АХФС, процессы отверждения и структурообразования растягиваются в более широком температурном интервале и в большей степени проявляются поликонденсацией и полимеризацией компонентов связки. Чистая ОФК взаимодействует с компонентами наполнителя, а основные превращения претерпевают продукты взаимодействия ЦТС и ОФК, образующие матрицу материала.

Дальнейшие работы по теме должны быть связаны с установлением точного характера фазовых переходов в рассматриваемой системе и тщательного исследования фазового состава в зависимости от условий среды с использованием методов дифференциально-термического и рентгенофазового анализа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Главная цель настоящей работы – определение возможности модификации диэлектрических характеристик пьезоэлектрических композитов на основе ЦТС–пьезокерамики и фосфатных связующих посредством термической обработки – успешно достигнута.

Установлен характер измерения пьезоэлектрических, диэлектрических характеристик и плотности композитов указанной системы в зависимости от максимальной температуры термической обработки материала.

Опытным путём показано, что стабилизация структуры и фазового состава композиционного материала посредством термической обработки позволяет добиться значительного снижения диэлектрических потерь материала.

Установлено, что нагрев до 700 °С и выше нежелателен из-за выделения свободного оксида свинца, обуславливающего существенное ухудшение характеристик.

На основании зависимостей характеристик от температуры термообработки установлен общий механизм формирования основных характеристик композитов на основе ЦТС и фосфатных связующих. Также установлено влияние частичного замещения ОФК в фосфатном вяжущем (на примере АХФС) на особенности протекания процессов фазообразования и структурообразования материала.

Таким образом, помимо достижения поставленной цели получен ряд результатов, связанных с вопросами формирования характеристик композитов в исследуемой системе. Для установления конкретного фазового состава продуктов взаимодействия ЦТС и фосфатных связующих необходимо использование методов дифференциально-термиче-

ского и рентгеноструктурного анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Получение и исследование пьезоэлектрического композита в системе «цирконат-титанат свинца – ортофосфорная кислота» / Г.А. Кошкин [и др.] // Ползуновский Вестник. 2022. № 1. С. 139–146. doi : 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.01.019.
2. Кошкин Г.А., Кикот В.В., Губич И.А., Пак Ч.Г. К вопросу об исследовании температурных характеристик композита на основе фосфатного связующего для создания чувствительных элементов систем структурного мониторинга работоспособности // Измерение, контроль, информатизация : материалы XXIII Международной научно-технической конференции. Барнаул : АлтГТУ, 2022. С. 66–72.
3. Кошкин Г.А. К вопросу о получении композиционных пьезоэлектрических толстопоглощочных покрытий на фосфатных связующих и пьезокерамике системы ЦТС // Ползуновский Вестник. 2022. Т. 2. № 4. С. 118–124. doi : 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.4.2.015.
4. Кошкин Г.А., Пак Ч.Г., Розен А.Е., Кикот В.В., Андреев В.Г. Получение композиционного материала системы «цирконат-титанат свинца – фосфатное связующее» // Надежность и качество : труды Международного симпозиума. Пенза : ПГУ, 2021. Т. 2. С. 170–172.
5. Рез, И.С. Диэлектрики. Основные свойства и применение в электротехнике. Москва : Радио и связь, 1989. 288 с.
6. Судакас, Л.Г. Фосфатные вяжущие системы. Санкт-Петербург : Квинтет, 2008. 254 с.
7. Твердение алюмофосфатной композиции при нагреве / В.С. Бакунов [и др.] // Огнеупоры и техническая керамика. 2016. № 3. С. 24–27.
8. ОСТ 11 0444-87. Материалы пьезокерамические. Технические условия. 1988-01-01. Москва : Электростандарт, 1987. 140 с.
9. Смажневская, Е.Г., Фельдман Н.Б. Пьезоэлектрическая керамика. Москва : Советское радио, 1971. 200 с.
10. Pavlov, D. Fundamentals of Lead-Acid Batteries // Lead-Acid Batteries: Science and Technology (Second Edition) / под ред. D. Pavlov. Amsterdam : Elsevier, 2017. P. 33–129. doi : 10.1016/B978-0-444-59552-2.00002-X.
11. Пористые пьезокомпозиционные материалы на основе пьезокерамики ПКП-12 / Е.В. Карюков [и др.] // Инженерный Вестник Дона. 2017. Т. 47. № 4 (47). С. 7.

Информация об авторах

Г. А. Кошкин – инженер-технолог 1 категории центра пьезопроизводства АО «НИИФИ», аспирант каф. «Сварочное, литейное производство и материаловедение» ПГУ.

Ч. Г. Пак – кандидат технических наук, доцент кафедры «Сварочное, литейное производство и материаловедение» Пензенского государственного университета.

В. В. Кикот – кандидат технических наук, доцент кафедры «Ракетно-космическое и авиационное приборостроение» Пензенского государственного университета.

А. Е. Розен – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Сварочное, литейное производство и материаловедение»

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 22 октября 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 06 мая 2024.

The article was received by the editorial board on 22 Oct 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 06 May 2024.

Пензенского государственного университета.

REFERENCES

1. Koshkin, G.A. [et al.]. (2022). Obtaining and investigation of piezoelectric compo-site consisting of lead zirconate-titanate and orthophosphoric acid. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 139-146. (In Russ.). DOI : 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.01.019.
2. Koshkin, G.A., Kikot, V.V., Gubich, I.A., Pak, Ch.G. (2022). To the question of studying the temperature characteristics of a composite based on a phosphate binder for creating sensitive elements of structural performance monitoring systems *Proceedings of the 23-rd International Conference «Measurement, Control, Informatization»*. L.I. Suchkova (Ed.). Barnaul : ASTU. (In Russ.).
3. Koshkin, G.A. (2022). On the matter of obtaining the composite piezoelectric thick film coatings based of phosphate binders and PZT piezo ceramics *Polzunovskiy vestnik*, (4), 118-124. (In Russ.). DOI : 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.4.2.015.
4. Koshkin, G.A., Pak, Ch.G., Rozen, A.E., Kikot, V.V., Andreyev, V.G. (2021). Obtaining a composite material based on «lead zirconate-titanate - phosphate binder» system *Proceedings of the International Symposium «Reliability and Quality»*. Penza : PSU. (In Russ.).
5. Rez, I.S. (1989). Dielectric materials: main properties and application in electrical technology. Moscow : Radio and Communication. (In Russ.).
6. Sudakas, L.G. (2008). *Phosphate binding systems*. Saint-Petersburg : Kvintet. (In Russ.).
7. Bakunov, V.S. [et al.]. (2016). Hardening of aluminum phosphate composition under heating *Refractories and Technical Ceramics*, (3), 24-27. (In Russ.).
8. Piezoceramic materials. Specification. (1987). OST 11 0444-87 from 1 Jan. 1988. Moscow : Electrostandard. (In Russ.).
9. Smazhevskaya, E.G., Feldman, N.B. (1971). *Piezoelectric ceramics*. Moscow : Soviet Radio. (In Russ.).
10. Pavlov, D. (2017). *Fundamentals of Lead-Acid Batteries* (From book *Lead-Acid Batteries: Science and Technology (Second Edition)*). Amsterdam: Elsevier. DOI : 10.1016/B978-0-444-59552-2.00002-X.
11. Karyukov, E.V. [et al.]. (2017). Porous piezocomposite materials based on PKP-12 piezo ceramics. *Engineering Journal of Don*, (4), 7. (In Russ.).

Information about the authors

G.A. Koshkin - engineering technologist of piezo manufacturing center, NIIFI, post-graduate student of Welding and Foundry Engineering, Materials Science Department of Penza State University.

Ch.G. Pak - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Welding and Foundry Engineering, Materials Science Department of Penza State University.

V.V. Kikot - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Rocket-space and aviation instrumentation" of Penza State University.

A.Ye. Rozen - Doctor of Technical Sciences, Head of the Welding and Foundry Engineering, Materials Science Department of Penza State University.



Научная статья

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

УДК665.775

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.032

 EDN: JDFVHM

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

Евгений Андреевич Бурькин

Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Смоленск, Россия
burykin-2000@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-8385-4032>

Аннотация. Увеличившийся объем резиновых отходов является значительной экологической проблемой. Один из подходов к решению этой проблемы заключается в использовании резиновой крошки при производстве модифицированного битума. В настоящее время технологии модификации предполагают использование полимерных добавок, выступающих в роли армирующего агента. Однако использование полимерных модификаторов, которые являются продуктами химической промышленности, увеличивает затраты на производство. В отличие от этого, резиновая крошка, являющаяся побочным продуктом механической переработки резины, служит экономически выгодным ресурсом. Температурно-временные режимы и количество этапов процесса модификации битума с использованием резиновой крошки мало изучены, что порождает множество мнений и способов производства. Это является ключевым фактором, который не позволяет эффективно и в полной мере заменить используемые полимеры на резиновую крошку в производстве. В данной статье представлено экспериментальное исследование, направленное на оптимизацию процесса использования отходов резины при модификации нефтяного битума. Основой проведенного эксперимента является исследование степени набухания резиновой крошки в битуме путем экстракции ацетоном. На основе анализируемых параметров оценивается эффективность поэтапной подготовки модифицированного битума. Разработана двухэтапная технология, включающая предварительное формирование битумно-резинового композита, для улучшения реологических свойств материала.

Ключевые слова: битум, резиновая крошка, модификация, переработка, двухступенчатая система, набухание, смешивание, отходы, ацетоновая экстракция, реологические свойства, углеводороды, полимерные материалы.

Для цитирования: Бурькин Е. А. Оптимизация процесса переработки резинотехнических отходов // Ползуновский вестник. 2024. № 2, С. 243–248. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.032. EDN: <https://elibrary.ru/JDFVHM>.

Original article

OPTIMIZATION OF RUBBER WASTE RECYCLING PROCESS

Yevgeny A. Burykin

Branch of the National Research University Moscow Power Engineering Institute, Smolensk, Russia
burykin-2000@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-8385-4032>

Abstract. The increased volume of rubber waste is a significant environmental problem. One approach to solving this problem is to use crumb rubber in the production of modified bitumen. Currently, modification technologies involve the use of polymer additives acting as reinforcing agents. However, the use of polymeric modifiers, which are products of the chemical industry, increases production costs. In contrast, crumb rubber, which is a by-product of mechanical rubber processing, serves as an economically advantageous resource. Temperature and time regimes and the number of steps in the process of bitumen modification using crumb rubber are poorly understood, giving rise to a multitude of opinions and production methods. This is a key factor that does not allow to effectively and fully replace the used polymers with crumb rubber in production. This paper presents an experimental study aimed at optimizing the process of using waste rubber in the modification of petroleum bitumen. The basis of the conducted experiment is the study of the degree of swelling of crumb rubber in bitumen by extraction with acetone. On the basis of analyzed parameters the efficiency of step-by-step preparation of modified bitumen is estimated. A two-stage technology including preliminary formation of bitumen-rubber composite to improve the rheological properties of the material is developed.

© Бурькин Е. А., 2024

Keywords: bitumen, crumb rubber, modification, processing, two-stage system, swelling, mixing, waste, acetone extraction, rheological properties, hydrocarbons, polymer materials.

For citation: Burykin, Y.A. (2024). Optimization of rubber waste recycling process. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 243-248. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.02.032. EDN: <https://JDFVHM>.

ВВЕДЕНИЕ

Резиновые изделия находят применение в различных сферах общественной деятельности и в повседневной жизни. Прогресс в ключевых отраслях промышленности, таких как угольная, нефтяная, автомобильная, судостроительная, электротехническая и производство шин, в значительной степени зависит от разработок в области резиновых изделий. Уникальные свойства резины, ее особенности конструкции определяют широкое применение. Однако в последние десятилетия наблюдается огромное накопление резиновых отходов [1]. Резина обладает высокой устойчивостью к воздействию окружающей среды, что приводит к накоплению больших объемов изношенной резины. Поэтому на данный момент существует потребность в поиске способов утилизации таких отходов, которые пока не нашли широкого применения в нашей экономике. Целесообразным методом утилизации резинотехнических отходов является измельчение, ведь распространённые химические и высокотемпературные методы разрушают углеводородные соединения, что ведёт к потере всех ценных свойств материала и препятствует повторному использованию.

Дальнейшее использование резиновой крошки в качестве модификатора органических вяжущих показывает свою эффективность уже несколько десятилетий [2–3]. Распространённой технологией является модификация нефтяных битумов, что позволяет увеличить срок службы строительного материала. Существует несколько способов модификации, однако так называемый "сухой способ", предполагающий использование резиновой крошки в качестве заполнителя, не показал достаточную эффективность, в связи с расслаиванием конечной смеси. Этот эффект вызван чрезмерным набуханием резиновой крошки [4], что приводит к уплотнению покрытия, выделению минеральных частиц и, в целом, разрушению структуры под воздействием сезонного замораживания-оттаивания влаги, содержащейся в нем. "Мокрый способ" выполняется при температуре 170–220 °С в течение 1–3 часов. Этот способ основан на поглощении резиновой крошкой лёгких фракций битума и пластифицирующих добавок [4]. Это образует каркас прочных связей резино-битумной смеси, что формирует гелеобразный материал с более близ-

кими друг к другу частицами и увеличивает вязкость до 10 раз. Данный метод позволяет получить стабильное вяжущее, менее восприимчивое к температурным перепадам.

Стандартным способом получения модифицированного битума является введение резиновой крошки в его объем, после чего смесь подвергается перемешиванию и температурной обработке. Однако такие материалы обычно не обладают долговечностью [5]. В свою очередь, для создания более совершенных материалов следует увеличить степень взаимодействия используемых компонентов. Но для этого необходимо в процессе смешивания разрушить поперечные молекулы каучука, чтобы на их месте образовались связи с углеродными компонентами нефтяного битума. Самым очевидным способом данной цели является повышение температуры реакции [6]. Но ввиду того, что при слишком высокой температуре резко повышается деструкция каучука, а вследствие понижается эластичность конечного материала, данный способ является недопустимым.

Таким образом, распространённые методы являются недостаточно эффективными и требуют дальнейшего исследования. На качество получаемого модифицированного битума значительно влияют способ, продолжительность, температура смешивания. Если принять во внимание тот факт, что температура смешивания является неизменной, вопрос о влиянии количества стадий процесса остаётся актуальным.

Это исследование направлено на оптимизацию процесса переработки резинотехнических отходов с целью их использования в качестве модификатора нефтяного битума. Для этого проведен анализ влияния стадий приготовления битумного вяжущего на набухание резиновой крошки. Величины набухания резиновой крошки были определены с помощью метода ацетоновой экстракции. Основная цель этой статьи – создание оптимальной технологии для производства битума модифицированного измельченной резиной.

МЕТОДЫ

Для проведения исследования набухания резиновой крошки в среде битума при производстве модифицированного битума были использованы битум нефтяной дорож-

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

ной марки БНД 130/200, физико-химические свойства представлены в таблице 1 [7]. Также для повышения распределения и растворимости модификатора было решено использовать в качестве пластифицирующей добавки нефтяное масло ПН-6К.

Таблица 1 – Физико-химические свойства битума нефтяного дорожного вязкого марки БНД 130/200

Table 1 - Physicochemical properties of oil road viscous bitumen of BND 130/200 grade

Наименование показателя	Значение показателя
Глубина проникания иглы, 0,1 мм: при 25 °С при 0 °С, не менее	131–200 18
Температура размягчения по кольцу и шару, °С, не ниже	38
Растяжимость, см, не менее:	80
Температура хрупкости, °С	–12
Температура вспышки, °С	230
Индекс пенетрации	От –1,5 до +1,0
Изменение температуры размягчения после прогрева, °С	7

Масло-пластификатор ПН-6К представляет собой концентрат ароматических углеводородов, получаемый компаундированием экстрактов масляных фракций. Физико-химические свойства масла ПН-6К представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-химические свойства масла-пластификатора ПН-6К

Table 2 - Physicochemical properties of plasticizer oil PN-6K

Наименование показателя	Значение показателя
Плотность при 20 °С, кг/см ³	950–970
Вязкость кинематическая, мм ² /с, при 100 °С	30–35
Температура вспышки в открытом тигле, °С	230
Температура застывания, °С	36
Анилиновая точка, °С	55–67
Показатель преломления при 50 °С	1,520–1,535
Массовая доля:	
Механических примесей, %	Отсутствует
Воды	Следы
Фенола, %	0,01
Парафино-нафтеновых углеводородов, %	14
Смол, %	8

Фракция используемой резиновой крошки выбрана размером от 0.1 до 1 мм, так как

более крупные частицы резины медленнее растворяются и набухают, что увеличит длительность технологического процесса.

Целью исследования является анализ влияния стадий процесса модификации битума на набухание и деструкцию резиновой крошки. Величину степени набухания определяли по методу получения ацетонового экстракта.

Содержание ацетонового экстракта характеризует количество растворимой в ацетоне части девулканизата, в состав которого входят растворимые в ацетоне нелетучие мягчители и другие составные части вулканизованных отходов, а также нелетучие мягчители, введенные при девулканизации резины [8].

С этой целью была разработана экспериментальная лабораторная установка, представленная на рисунке 1. Установка для проведения экстракции включает в себя нагревательный элемент 1, поддерживающий необходимую температуру реакции, колбу с исследуемым образцом 2 и закреплённый на штативе 5 зажимом 4 обратный шестишариковый холодильник 3, обеспечивающий конденсацию экстракта.

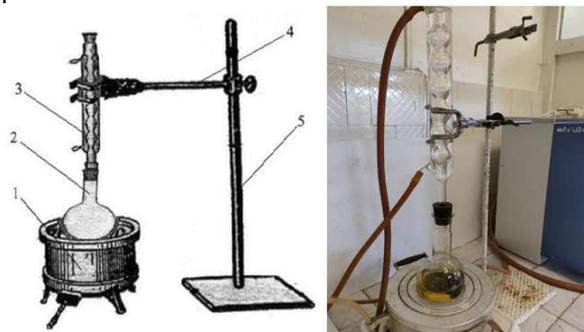


Рисунок 1 – Экспериментальная лабораторная установка для проведения экстракции

Figure 1 - Experimental laboratory setup for the extraction process

Для определения степени набухания резиновой крошки была выбрана следующая методика: резиновая крошка подверглась статической термообработке в среде битума и пластификатора. Смесь имела следующие пропорции: битум – 75 %, пластификатор – 7 %, резиновая крошка – 18 %. Каждые 30 минут отбирали образцы резиновой крошки, и затем, взвешивая 1 грамм из среднего образца с точностью, не превышающей 0,0002 грамма, помещали его в колбу. Далее добавляли 150 мл ацетона и присоединяли к колбе, установленной на водяной бане, обратный холодильник. Процесс кипячения содержимого колбы продолжался в течение 2 часов. После экстракции образец материала дважды промывали 10 мл ацетона. Затем после

остывания взвешивали пробу с точностью не более 0,0002 грамма. Для исключения влияния пластификаторов, содержащихся в резине в соответствии с рецептурой производства, резиновая крошка предварительно также подвергалась ацетоновой экстракции.

Массовую долю мягчителей (X) в процентах вычисляли по формуле:

$$X = \frac{100(m - m_1)}{m}, \quad (1)$$

где m – масса навески материала, г;

m_1 – масса высушенного остатка, г.

Величину полученного ацетонового экстракта соответствующей пробы вычитали из общей величины доли пластификаторов в резине. Полученные значения характеризуют степень набухания резиновой крошки.

Для анализа двухстадийного способа приготвления модифицированного битума, термообработка резиновой крошки была проведена по следующей методике: в процессе нагрева и аккуратного перемешивания, при котором температура достигла 230 °С, в дисперсионную среду, состоящую из 50 % битума и 14 % пластификатора, внесли 36 % резиновой крошки, которая имела комнатную температуру. Через 2,5 часа добавляли нефтяной битум в количестве 50 % от итоговой смеси. Полученную суспензию перемешивали в течение 0,5 часа при температуре 80–90 °С. Время отбора проб резиновой крошки соответствовало времени в первом методе.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По итогам проведённого экспериментального исследования получены значения степени набухания резиновой крошки в среде нефтяного битума, представленные в таблице 3. Наблюдаемые результаты, изображенные на рисунке 2,

Таблица 3 – Степень набухания исследуемых образцов резиновой крошки

Table 3 - Swelling degree of the tested samples of rubber crumb rubber

Наименование пробы	Время выдержки, мин	Степень набухания резиновой крошки при одностадийном способе, %	Степень набухания резиновой крошки при двухстадийном способе, %
Проба 1	30	14,6	21,5
Проба 2	60	27,3	34,3
Проба 3	90	34,8	44,3
Проба 4	120	42	54,5
Проба 5	150	47,8	65,1
Проба 6	180	51,6	76,7

Также в ходе исследования было выявлено, что при температуре ниже 230 °С процесс пластификации и девулканизации каучука протекает слишком медленно, из-за чего

указывают на то, что набухание происходит по линейной зависимости в течение первых 20 минут, а затем увеличивается с убывающей скоростью. Размеры резиновых частиц увеличиваются до тех пор, пока концентрация смеси не станет равномерной по всему объёму и не будет достигнуто химическое равновесие. При малом времени реакции при одностадийном методе наблюдается слабая девулканизация резиновой крошки. Если резина недостаточно девулканизирована, то она образует гетерогенное вязущее вещество, в котором резина действует в основном как наполнитель [9]. Это также выражено невысокой степенью набухания, определённой из эксперимента. Во избежание падения жесткости и упругости вязущего возникает необходимость увеличения времени технологического процесса [10]. Это неизбежно повлияет на экономической эффективности производства и приведёт к повышению окисления битума, что негативно скажется на долговечности материала.

Рассматривая же двухстадийный метод, можно предположить, что предварительное получение концентрированной суспензии позволяет разрушить поперечные связи в молекулах каучука и повышает взаимодействие резиновой крошки с лёгкими компонентами нефтяного битума на втором этапе. Это позволяет достигнуть более высокой скорости набухания резиновых частиц и обеспечить их равномерное распределение по всему объёму битума. Смешивание компонентов на первой стадии образует эмульсию с параметрами растворимости близкими к параметрам нефтяного битума, что также увеличивает диффузное взаимодействие на втором этапе. Увеличение степени молекулярного взаимодействия ведёт к повышению прочности структурного каркаса смеси, что, в свою очередь, приводит к уменьшению чувствительности к температуре и снижает восприимчивость вязущего к старению [11].

необходимо увеличивать время обработки. Это может привести к резкому повышению температуры размягчения и понижению упругости продукта. При температуре 260 °С угле-

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

водородные связи начинают выгорать, образуя соединения низкомолекулярных углеводородов, вследствие чего резино-битумная композиция начинает расслаиваться [12]. Контролируемый процесс деструкции каучука достигается только при температуре не выше

230 °С. При данной температуре с увеличением времени воздействия степень набухания резиновой крошки постоянно увеличивается, что подтверждает плавная пластификация и частичное растворение в битуме.

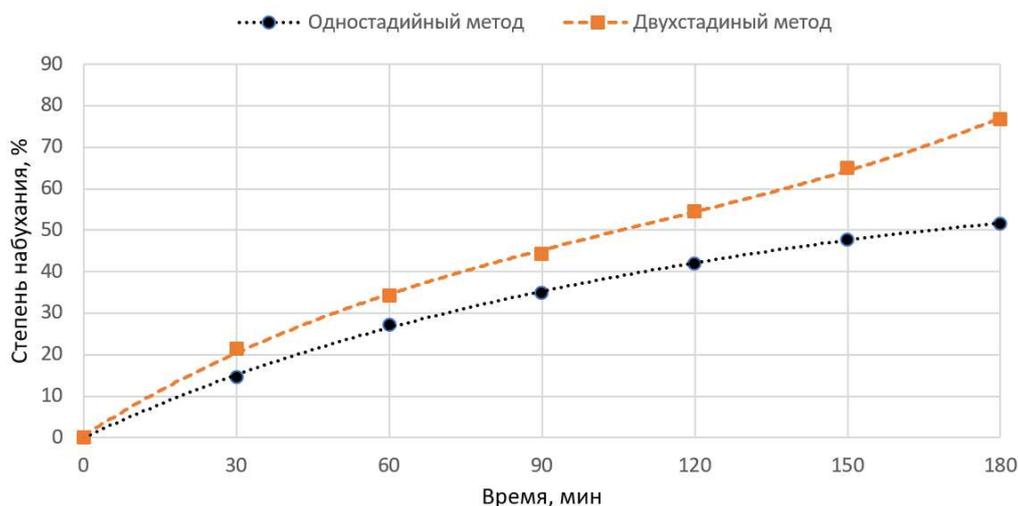


Рисунок 2 – Зависимость степени набухания резиновой крошки от времени выдержки в статическом режиме в среде нефтяного битума при температуре 230 °С

Figure 2 - Dependence of the degree of rubber crumb swelling on the exposure time in static mode in the medium of oil bitumen at a temperature of 230 °C

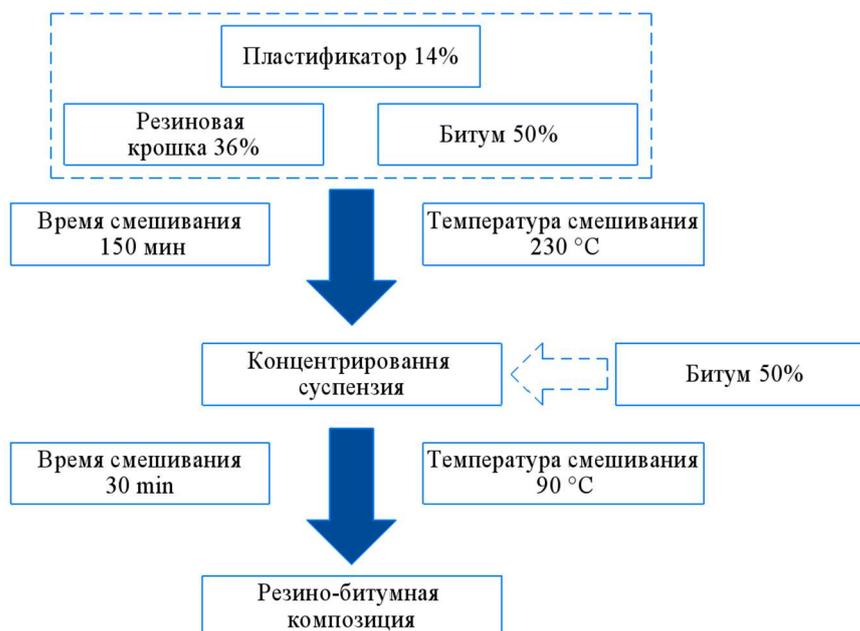


Рисунок 3 – Технология двухступенчатого производства битума модифицированного резиновой крошкой

Figure 3 - Technology of two-stage production of bitumen modified with crumb rubber

Подводя итоги, можно выделить следующие преимущества двухступенчатой технологии модификации битума перед одноступенчатой: на первом этапе резиновая крошка быстрее абсорбирует легкие углеводородные компоненты, в то время как на втором этапе

пластификация и растворение происходят в меньшем объеме, что позволяет сохранить уже сформировавшиеся связи. Данный метод включает длительное высокотемпературное воздействие только на часть объема нефтяного битума, присутствующего в конечном

продукте, что позволят снизить степень окисления углеводородов. В результате двухстадийный метод является более бережным, в сравнении с одностадийным. Таким образом, двухступенчатый способ модификации может решить проблему низкокачественных битумных материалов на основе резинового модификатора и тем самым повысить объёмы переработки резинотехнических отходов.

ВЫВОДЫ

В данной работе проводится анализ степени набухания каучуковой крошки в битуме с целью оптимизации процесса переработки резиновых отходов. С помощью метода экстракции ацетоном получена зависимость, указывающая на замедление набухания с увеличением продолжительности процесса модификации и усилением взаимодействия между компонентами в двухэтапном способе. Выявлено, что многостадийный процесс может решить проблему деградации углеводородов нефтяного битума при температуре процесса в 230 °С. Также за счёт достаточно высокой температуры первой стадии достигается значительное ускорение технологического процесса и более эффективное сцепление молекул каучука, битума и пластификатора. В результате образуется концентрированная суспензия, которая обеспечивает эффективную модификацию вяжущего на второй стадии. Это способствует усилению однородности системы и созданию дисперсного каркаса, укрепляющего вяжущее в целом. С учетом вышеперечисленного можно заключить, что двухступенчатый способ модификации битума резиновой крошкой с предварительным созданием концентрированной резино-битумной суспензии представляет собой эффективный метод производства, позволяющий достигнуть значительное улучшение свойств вяжущего. Данный метод позволит расширить использование измельчённой резины в качестве модификатора, что поспособствует утилизации резинотехнических отходов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ziari H. Characterization of rutting resistance of EBS-modified asphalt mixtures // Petroleum Science and Technology. 2016. № 13. P. 1107–1112. doi.org/10.1080/10916466.2016.1181655.
2. Development of bio-based stabilizers and their effects on the performance of SBS-modified asphalt / L.T. Geng [et al.] // Construction and Building Materials, 2021. № 271. P. 8. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121889.
3. Zhu J., Birgisson B., Kringos N. Polymer modifi-

cation of bitumen: advances and challenges // European Polymer Journal. 2014. № 54. P. 18–38. doi : org/10.1016/j.eurpolymj.2014.02.005.

4. McNally T. Polymer modified bitumen Properties and characterization. Woodhead publishing, 2011. 413 p.

5. Бурькин Е.А. Методы производства модифицированного битума способствующие уменьшению негативного влияния на окружающую среду // Актуальные проблемы формирования здорового образа жизни студенческой молодежи : материалы XIII Международной студенческой научно-практической конференции. Смоленск : филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», 2022. С. 225–227.

6. Бурькин Е.А. Исследование влияния температуры приготовления модифицированного битума на его свойства // Информационные технологии, энергетика и экономика : материалы XIX Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов. Смоленск : Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», 2022. С. 17–21.

7. ГОСТ Р 22245-90. Битумы нефтяные дорожные вяжкие. Технические условия : введ. 1991-01-01. Москва, 2023, 9 с.

8. ГОСТ Р 8407-89. Сырье вторичное резиновое. Покрышки и камеры шин. Технические условия : введ. 1991-01-01. Москва, 2021, 7 с.

9. Бурькин Е.А. Влияние резиновой крошки на свойства модифицированного битума // Энергетика, информатика, инновации : материалы XI Международной научно-технической конференции. Смоленск : филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», 2022. С. 7–10.

10. Бурькин Е.А. Исследование влияния времени приготовления модифицированного битума на его свойства // Информационные технологии, энергетика и экономика : материалы XIX Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов. Смоленск : филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», 2022. С. 21–24.

11. Lee S.J., Akisetty C.K., Amirkhanian S.N. The effect of crumb rubber modifier (CRM) on the performance properties of rubberized binders in HMA pavements // Construction and Building Materials. 2008. Vol. 22. № 7. P. 1368–1376. doi : org/10.1016/j.conbuildmat.2007.04.010.

12. Lo Presti D., Airey G., Partal P. Manufacturing terminal and field bitumen-tyre rubber blends: the importance of processing conditions // Procedia. 2012. Vol. 53. P. 485–494. doi : org/10.1016/j.sbspro.2012.09.899.

Информация об авторах

Е. А. Бурькин – магистрант кафедры «Технологические машины и оборудование» филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ».

Information about the authors

Y.A. Burykin - Master's student of the Branch of the National Research University Moscow Power Engineering Institute in Smolensk.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 25 октября 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 06 мая 2024.

The article was received by the editorial board on 25 Oct 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 06 May 2024.



Научная статья
2.6.17. Материаловедение (технические науки)
УДК 621.793.79

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.033

 EDN: OLJRHK

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И МИКРОСТРУКТУРА СПЛАВОВ СИСТЕМЫ CoCrFeMnNi

Владислав Константинович Дробышев¹, Ирина Алексеевна Панченко²,
Сергей Валерьевич Коновалов³

^{1,2,3} ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия

¹ drobyshev_v.k@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1532-9226>

² i.r.i.ss@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1631-9644>

³ konovalov@sibsiu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4809-8660>

Аннотация. Проведено исследование по установлению изменения механических свойств: твердости и микротвердости в зависимости от содержания химического состава высокоэнтропийных сплавов системы CoCrFeMnNi. Для исследования микроструктуры, химического состава неметаллических включений и элементного картирования использовались методы сканирующей электронной микроскопии. Размер неметаллических включений составил 8 мкм с выделением оксидных соединений Mn₂O₃. Микроструктурный анализ с использованием энергодисперсионной спектроскопии был проведен точно в дендритной области и установил повышенное содержание таких элементов, как Co, Cr, Fe с высокой температурой плавления, а также выделения легкоплавких материалов Ni и Mn в междендритных прослойках.

Ключевые слова: высокоэнтропийный сплав, микротвердость, твердость, микроструктура, распределение элементов, СЭМ.

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-49-00015, <https://rscf.ru/project/23-49-00015/>.

Для цитирования: Дробышев В. К., Панченко И. А., Коновалов С. В. Механические свойства и микроструктура сплавов системы CoCrFeMnNi // Ползуновский вестник. 2024. № 2, С. 249–222. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.033. EDN: <https://elibrary.ru/OLJRHK>.

Original article

MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE OF ALLOYS OF THE CoCrFeMnNi SYSTEM

Vladislav K. Drobyshev¹, Irina A. Panchenko², Sergey V. Konovalov³

^{1, 2, 3} Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Siberian State Industrial University", Novokuznetsk, Russia

¹ drobyshev_v.k@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1532-9226>

² i.r.i.ss@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1631-9644>

³ konovalov@sibsiu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4809-8660>

Abstract. A study was carried out to establish changes in mechanical properties: hardness and microhardness depending on the content of the chemical composition of high-entropy alloys of the CoCrFeMnNi system. Scanning electron microscopy methods were used to study the microstructure, chemical composition of non-metallic inclusions and elemental mapping. The size of non-metallic inclusions was 8 μm with the release of oxide compounds Mn₂O₃. Microstructural analysis using energy dispersive spectrometry was carried out pointwise in the dendritic region and established an increased content of elements such as Co, Cr, Fe with a high melting point, as well as the release of low-melting materials Ni and Mn in the interdendritic layers.

Keywords: high-entropy alloy, microhardness, hardness, microstructure, element distribution, SEM.

Acknowledgements: This study is funded by a grant of the Russian Science Foundation, project 23-49-00015. <https://rscf.ru/en/project/23-49-00015/>.

For citation: Drobyshev, V.K., Panchenko, IA. & Konovalov, S.V. (2024). Mechanical properties and microstructure of alloys of the CoCrFeMnNi system. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 249-222. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.02.033. EDN: <https://OLJRHK>.

ВВЕДЕНИЕ

Первым пятикомпонентным высокоэнтропийным сплавом (ВЭС) был CoCrFeNiMn (сплав Кантора) [1–6], который обладает уникальными коррозионными, износостойкими, магнитными и электрическими свойствами. Одна из особенностей данного семейства сплавов – это наличие различных фазовых состояний: однофазные ГЦК, ОЦК, ГПУ. Однофазный высокоэнтропийный сплав CoCrFeMnNi с ГЦК решеткой имеет потенциальные преимущества по механическим параметрам, термической стабильности и превосходной пластичности при низкой температуре [13–19].

В работе [20] отмечено, что существует несколько сотен пятикомпонентных ВЭС, содержащих свыше 40 разных элементов. Эти элементы условно разделены на девять семейств 1 – на основе переходных 3d-металлов Al, Co, Cr, Fe, Ni, Mn, Cu, Ti; 2 – на основе тугоплавких металлов Cr, Hf, Mo, Nb, Ta, Ti, V, W, Zr; 3 – на основе Al, Be, Li, Mn, Se, Sn, Ti, Zn; 4 – на основе переходных 4f-металлов Dy, Gd, Lu, Tb, Tm, Y; 5 – на основе бронз и латуней; 6 – на основе Ag, Au, Co, Cr, Cu, Ni, Pd, Pt, Rh, Ru с каталитическими свойствами; 7 – высокоэнтропийные металлические стекла; 8 – высокоэнтропийные бориды, карбиды, нитриды, оксиды, силициды; 9 – ВЭС пленки и покрытия. В данной работе ограничимся исследованием свойств ВЭС системы CoCrFeNiMn.

Целью данной работы является анализ микроструктуры и механических свойств сплава CoCrFeNiMn с варьированием содержания элементного состава.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Химический состав высокоэнтропийных сплавов системы CoCrFeMnNi в литом состоянии приведен в таблице 1.

Для проведения исследований использовалось шесть композиций высокоэнтропийных сплавов системы CoCrFeMnNi, полученных индукционной плавкой токами высокой частоты.

Твердость сплавов измеряли на твердомере ТК-2М с нагрузкой 100 кгс по шкале В в соответствии с ГОСТ 9031-75. Измерение микротвердости проводилось с использованием микротвердомера HVS-1000 по Виккерсу ГОСТ 9450-76 путём вдавливания алмазной пирамидки. Испытательная нагрузка – 1 кг, длительность нагрузки 10 секунд, шаг измерения 500 мкм.

Микроструктура материала была изучена с использованием сканирующего электронного

микроскопа фирмы KYKY EM-6900, оснащённого SE и BSE детектором.

Таблица 1 – Химический состав сплавов системы CoCrFeMnNi, at %

Table 1 - Chemical composition of the CoCrFeMnNi system, at%

№ партии	Co	Cr	Fe	Mn	Ni
1	20	20	35	5	20
2	15	15	30	10	20
3	20	20	25	15	20
4	20	20	15	25	20
5	20	20	10	30	20
6	25	25	5	35	20

Элементное картирование осуществлялось с использованием энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭДС) на приставке Oxford Xplore.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице 2 представлены результаты исследования твердости и микротвердости высокоэнтропийных сплавов системы CoCrFeMnNi. Исследуемые образцы можно разделить на три группы: первая группа – образцы с повышенными параметрами твердости и микротвердости – сплавы системы Co₂₀Cr₂₀Fe₃₅Mn₅Ni₂₀ (1) и Co₂₅Cr₂₅Fe₅Mn₃₅Ni₂₀ (6); вторая группа – образцы со средними механическими параметрами системы Co₂₀Cr₂₀Fe₂₅Mn₁₅Ni₂₀ (3) и Co₂₅Cr₂₅Fe₁₀Mn₃₀Ni₂₀ (5); третья группа – образцы системы Co₁₅Cr₁₅Fe₃₀Mn₁₀Ni₂₀ (2) и Co₂₀Cr₂₀Fe₁₅Mn₂₅Ni₂₀ (4) с низкими значениями твердости и микротвердости. Для дальнейшего исследования микроструктуры, элементного картирования с использованием ЭДС рассмотрим сплав с химическим составом Co₂₅Cr₂₅Fe₅Mn₃₅Ni₂₀, обладающий наивысшими механическими свойствами среди остальных сплавов.

Таблица 2 – Диапазон значений твердости и микротвердости исследуемых ВЭС

Table 2 - Hardness, microhardness of the studied HEAs

№ партии	Твердость, НВ	Микротвердость, НВ
1	114-118	140-149
2	100-102	126-132
3	103-109	131-133
4	98-101	127-131
5	109-112	130-138
6	116-118	141-149

На рисунке 1 (а, b) приведено 2 электронно-микроскопических изображения, взятых с разных участков исследуемого сплава $Co_{25}Cr_{25}Fe_5Mn_{35}Ni_{20}$, энергетические спектры и карты распределения элементов, приведены на рисунке 1 (с–f).

По результатам ЭДС анализа дендритные области (спектр 1, 4; рисунок 1, а, b) в литом сплаве $Co_{25}Cr_{25}Fe_5Mn_{35}Ni_{20}$ отличаются

повышенным содержанием элементов с высокой температурой плавления Co, Cr, Fe (таблица 3). Противоположно этому междендритные прослойки (спектр 2, 3; рисунок 1, а, b) обогащены легкоплавкими элементами Ni и Mn, представленными в таблице 3. Средний размер зерен составил 150–250 мкм.

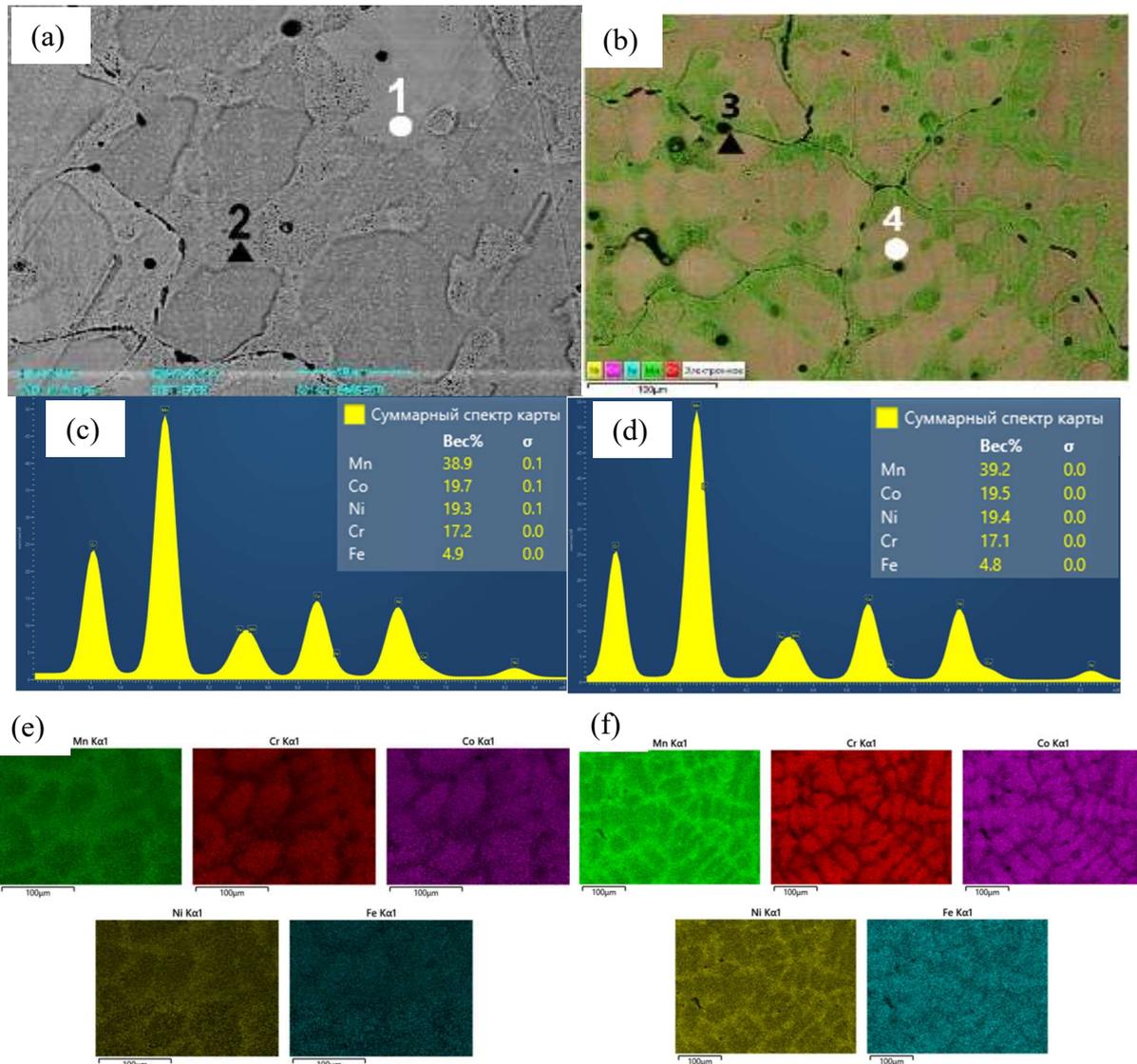


Рисунок 1 – СЭМ для сплава $Co_{25}Cr_{25}Fe_5Mn_{35}Ni_{20}$ (а–b) Электронно-микроскопическое изображение структуры сплава, (с–d) Энергетические спектры элементный состав исследуемых областей, (е–f) Карты распределения элементов исследуемых областей

Figure 1 - SEM for the $Co_{25}Cr_{25}Fe_5Mn_{35}Ni_{20}$ alloy (a) Electron microscopic image of the structure of the x500 alloy (b) Element distribution maps

На рисунке 2 приведен размер исследуемого неметаллического включения (8 мкм) и элементное картирование области сплава $Co_{25}Cr_{25}Fe_5Mn_{35}Ni_{20}$, содержащего неметалли-

ческое включение. На основе химического состава (таблица 4) и карты распределения элементов (рисунок 2) выявлено, что состав неметаллического включения сплава $Co_{25}Cr_{25}Fe_5Mn_{35}Ni_{20}$ в большей степени обогащён

следующими элементами: Mn = 51,70 ат. %, O = 38,73 ат. %, S = 3,85 ат. %.

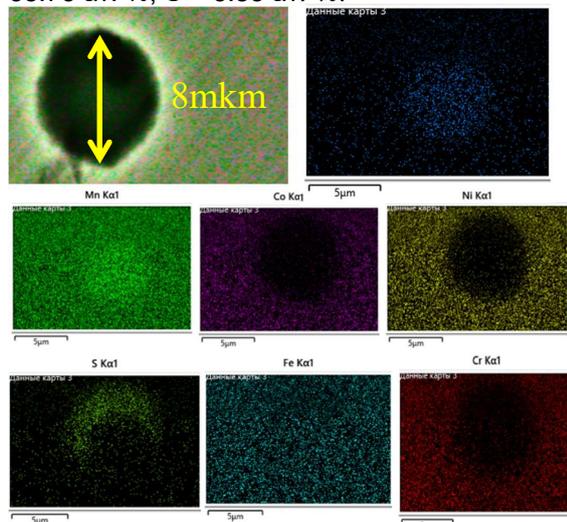


Рисунок 2 – ЭДС картирование и химический состав области, содержащей неметаллическое включение

Figure 2 - EDS mapping and chemical composition of non-metallic inclusion

На рисунке 3 приведён усредненный анализ участка, содержащего неметаллическое включение по глубине исследуемой области. В результате можно отметить выделение элементов Mn и O в диапазоне 15–23 мкм. По данным таблицы 4 и рисунка 3 можно утверждать, что эти выделения являются оксидами (Mn₂O₃).

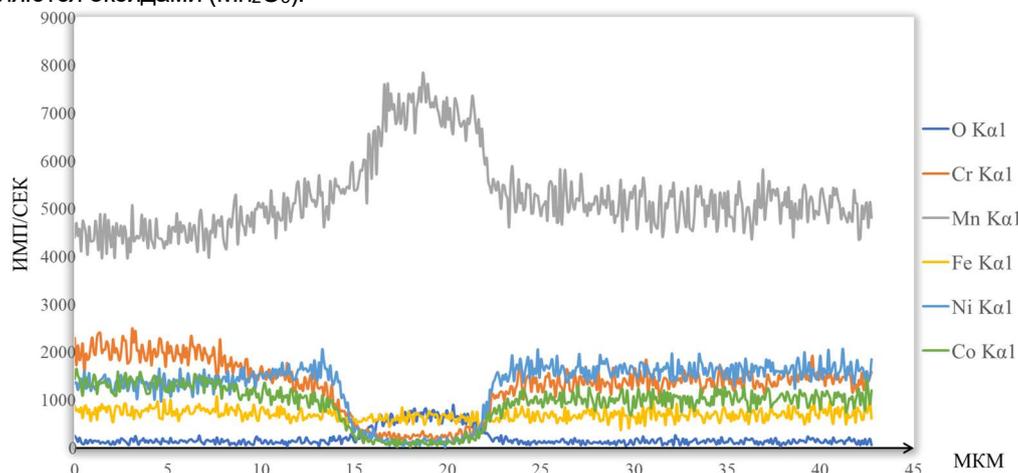


Рисунок 3 – Усреднённое элементное распределение области, содержащей неметаллическое включение

Figure 3 - Averaged elemental distribution in a region containing a nonmetallic inclusion

ВЫВОДЫ

1. В результате проделанной работы проанализированы механические свойства: твердость и микротвердость высокоэнтропийных сплавов системы CoCrFeMnNi, где образец Co₂₅Cr₂₅Fe₅Mn₃₅Ni₂₀ продемонстрировал наивысшие значения твердости среди остальных исследуемых материалов в диапазоне 114–118 НВ, микротвердости 140–149 НВ.

Таблица 3 – Результаты элементного состава участков сплава Co₂₅Cr₂₅Fe₅Mn₃₅Ni₂₀

Table 3 - Results of the elemental composition of sections of the Co₂₅Cr₂₅Fe₅Mn₃₅Ni₂₀ alloy

Элементы	Спектр 1 ат. %	Спектр 2 ат. %	Спектр 3 ат. %	Спектр 4 ат. %
Co	20.27	14.49	19.53	10.73
Cr	21.35	12.31	19.88	16.08
Fe	5.82	2.91	5.32	3.22
Mn	35.59	47.45	37.89	51.02
Ni	16.97	22.54	17.38	18.95

Таблица 4 – Точечный усредненный химический состав элементов в области неметаллического включения

Table 4 - Point-averaged chemical composition of elements in the region of a non-metallic inclusion

Элементы	ЭДС картирование области, содержащей неметаллическое включение (ат. %)
Co	1.30
Cr	1.78
Fe	0.35
Mn	51.70
Ni	2.30
S	3.85
O	38.73

Co₂₅Cr₂₅Fe₅Mn₃₅Ni₂₀ состоит из соединений: Mn (51,70 ат. %), O (38.73 ат. %), S (3.85 ат. %).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Gromov V.E., Kononov S.V., Ivanov Yu.F., Osintsev K.A. Structure and properties of high-entropy alloys. Springer. Advanced structured materials. 2021. 110 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-78364-8>.
- Zhang Y., Zuo T.T., Tang Z., Gao M.C., Dahmen K.A., Liaw P.K., Lu Z.P. Microstructures and properties of high-entropy alloys // Progress in Materials Science. 2014. Vol. 61. P. 1–93, <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2013.10.001>.
- Abrahams K., Zomorodpoosh S., Khorasgani A., Roslyakova I., Steinbach I., Kundin J. Automated assessment of a kinetic database for FCC Co–Cr–Fe–Mn–Ni high entropy alloys. Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering. 2021, vol. 29, no. 5, article 05500, <https://doi.org/10.1088/1361-651X/abf62b>.
- George E.P., Curtin W.A., Tazan C.C. High entropy alloys: A focused review of mechanical properties and deformation mechanisms // Acta Materialia. 2020. Vol. 188. P. 435–474. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2019.12.015>.
- Li Z., Zhao S., Ritchie R.O., Meyers M.A. Mechanical properties of high-entropy alloys with emphasis on face-centered cubic alloys // Progress in Materials Science. 2019. Vol. 102. P. 296–345. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2018.12.003>.
- S. Haas, A.M. Manzoni, F. Krieg, U. Glatzel. Microstructure and Mechanical Properties of Precipitate Strengthened High Entropy Alloy Al10Co25Cr8Fe15Ni36Ti6 with Additions of Hafnium and Molybdenum, Entropy 21 (2019) 169, doi:10.3390/e21020169.
- Zaddach A.J., Niu C., Koch C.C. [et al.]. Mechanical Properties and Stacking Fault Energies of Ni-FeCrCoMn High-Entropy Alloy. JOM 65, 1780–1789. (2013), <https://doi.org/10.1007/s11837-013-0771-4>.
- K.B. Zhang, Z.Y. Fu, J.Y. Zhang, J. Shi, W.M. Wang, H. Wang, Y.C. Wang, Q.J. Zhang. Annealing on the structure and properties evolution of the CoCrFeNiCuAl high-entropy alloy, J. Alloys Compd. 502 (2010) 295–299, <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2009.11.104>.
- M. Kawamura, M. Asakura, N.L. Okamoto, K. Kishida, H. Inui, E.P. George. Plastic deformation of single crystals of the equiatomic Cr–Mn–Fe–Co–Ni high entropy alloy in tension and compression from 10K to 1273K, Acta Mater. (2021) 116454, doi: 10.1016/j.actamat.2020.10.073.
- Lu A. Chauhan, D. Litvinov, M. Walter, A.S. Tirunilai, J. Freudenberger, A. Kauffmann, M. Heilmaier, J. Aktaa. High-temperature low cycle fatigue behavior of an equiatomic CoCrFeMnNi high-entropy alloy, Materials Science and Engineering: A, Volume 791, (2020), ISSN 0921-5093, <https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.139781>.
- W.-R. Wang, W.-L. Wang, S.-C. Wang, Y.-C. Tsai, C.-H. Lai, J.-W. Yeh. Effects of Al addition on the microstructure and mechanical property of AlXCoCrFeNi high-entropy alloys, Intermetallics 26 (2012). 44–51, <https://doi.org/10.1016/j.intermet.2012.03.005>.
- F. Otto, N.L. Hanold, E.P. George. Microstructural evolution after thermomechanical processing in an equiatomic, single-phase CoCrFeMnNi high-entropy alloy with special focus on twin boundaries, Intermetallics 54 (2014) 39–48, doi: 10.1016/j.intermet.2014. 05.014.
- Ikeda Y., Tanaka I., Neugebauer J., Kormann F. Impact of interstitial C on phase stability and stacking-fault energy of the CrMnFeCoNi high-entropy alloy // Physical Review Materials. 2019. Vol. 3. Article 113603.
- Osintsev K., Kononov S., Ivanov Y., Gromov V., Vorobyev S., Panchenko I. Characterization of Al-Co-Cr-Fe-Mn-Ni High-Entropy Alloy Coating Fabricated onto AA5083 Using Wire-Arc Additive Manufacturing. Metals. 2022; 12(10):1612, <https://doi.org/10.3390/met12101612>.
- Osintsev K., Kononov S., Glezer A., Gromov V., Ivanov Y., Panchenko I. (2021). Research on the structure of Al₂.1Co_{0.3}Cr_{0.5}FeNi_{2.1} high-entropy alloy at submicro- and nano-scale levels. Materials Letters. 294, doi: 10.1016/j.matlet.2021.129717.
- Ivanov Y., Osintsev K., Gromov V., Kononov S., Panchenko I. (2021). Deformation Behavior of a High-Entropy Al–Co–Cr–Fe–Ni Alloy Fabricated by Means of Wire-Arc Additive Manufacturing. Steel in Translation. 51. 27-32, doi: 10.1016/j.intermet.2014. 05.014.
- Ivanov Y., Gromov V., Kononov S., Shugurov V., Efimov M., Teresov A., Petrikova E., Panchenko I., Shliarova Y. (2022). Structure and Properties of Al-Co-Cr-Fe-Ni High-Entropy Alloy Subjected to Electron-Ion Plasma Treatment. Metals. 12. 1987, doi:10.3390/met12111987.
- Nevskii S., Sarychev V., Kononov S., Osintsev K., Ivanov Y., Panchenko I., Gromov V. (2022). Modeling the mechanism of micro / nanostructured surface formation in Al-Co-Cr-Fe-Ni and Co-Cr-Fe-Mn-Ni high-entropy alloys treated with a high current pulsed electron beam. Letters on Materials. 12. 249–254, doi: 10.22226/2410-3535-2022-3-249-254.
- I-Shataif Y., Sivasankaran S., Al-Mufadi F., Alaboodi A., Ammar H. (2019). Manufacturing Methods, Microstructural and Mechanical Properties Evolutions of High-Entropy Alloys: A Review. Metals and Materials International. 26. 3, doi: 10.1007/s12540-019-00565-z.
- Rogachev A.S. Structure, stability and properties of high entropy alloys. Fizika metallov i metallovedenie. 2020, vol. 121, no. 8, pp. 807–841. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0015323020080094>.

Информация об авторах

И. А. Панченко – кандидат технических наук, доцент, заведующий научной лабораторией «Лаборатория 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

В. К. Дробышев – научный сотрудник лаборатории электронной микроскопии и обработки

изображений» Сибирского государственного индустриального университета.

REFERENCES

- Gromov V.E., Konovalov S.V., Ivanov Yu.F., Osintsev K.A. Structure and properties of high-entropy alloys. Springer. Advanced structured materials. 2021. 110 p, <https://doi.org/10.1007/978-3-030-78364-8>.
- Zhang Y., Zuo T.T., Tang Z., Gao M.C., Dahmen K.A., Liaw P.K., Lu Z.P. Microstructures and properties of high-entropy alloys // Progress in Materials Science. 2014. Vol. 61. P. 1-93, <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2013.10.001>.
- Abrahams K., Zomorodpoosh S., Khorasgani A., Roslyakova I., Steinbach I., Kundin J. Automated assessment of a kinetic database for FCC Co–Cr–Fe–Mn–Ni high entropy alloys. Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering. 2021, vol. 29, no. 5, article 05500, <https://doi.org/10.1088/1361-651X/abf62b>.
- George E.P., Curtin W.A., Tazan C.C. High entropy alloys: A focused review of mechanical properties and deformation mechanisms // Acta Materialia. 2020. Vol. 188. P. 435-474. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2019.12.015>.
- Li Z., Zhao S., Ritchie R.O., Meyers M.A. Mechanical properties of high-entropy alloys with emphasis on face-centered cubic alloys // Progress in Materials Science. 2019. Vol. 102. P. 296-345. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2018.12.003>.
- S. Haas, A.M. Manzoni, F. Krieg, U. Glatzel. Microstructure and Mechanical Properties of Precipitate Strengthened High Entropy Alloy Al₁₀Co₂₅Cr₈Fe₁₅Ni₃₆Ti₆ with Additions of Hafnium and Molybdenum, Entropy 21 (2019) 169, doi:10.3390/e21020169.
- Zaddach, A.J., Niu, C., Koch, C.C. [et al.]. Mechanical Properties and Stacking Fault Energies of NiFeCrCoMn High-Entropy Alloy. JOM 65, 1780-1789 (2013), <https://doi.org/10.1007/s11837-013-0771-4>.
- K.B. Zhang, Z.Y. Fu, J.Y. Zhang, J. Shi, W.M. Wang, H. Wang, Y.C. Wang, Q. J. Zhang. Annealing on the structure and properties evolution of the CoCrFeNiCuAl high-entropy alloy, J. Alloys Compd. 502 (2010). 295-299, <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2009.11.104>.
- M. Kawamura, M. Asakura, N.L. Okamoto, K. Kishida, H. Inui, E.P. George. Plastic deformation of single crystals of the equiatomic Cr–Mn–Fe–Co–Ni high entropy alloy in tension and compression from 10K to 1273K, Acta Mater. (2021) 116454, doi: 10.1016/j.actamat.2020.10.073.
- Lu, A. Chauhan, D. Litvinov, M. Walter, A.S. Tirunilai, J. Freudenberger, A. Kauffmann, M. Heilmaier, J. Aktaa. High-temperature low cycle fatigue behavior of an equiatomic CoCrFeMnNi high-entropy alloy, Materials Science and Engineering: A, Volume 791, (2020), ISSN 0921-5093, <https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.139781>.
- W.-R. Wang, W.-L. Wang, S.-C. Wang, Y.-C. Tsai, C.-H. Lai, J.-W. Yeh. Effects of Al addition on the microstructure and mechanical property of AlXCoCrFeNi high-entropy alloys, Intermetallics 26 (2012) 44-51, <https://doi.org/10.1016/j.intermet.2012.03.005>.
- F. Otto, N.L. Hanold, E.P. George, Microstructural evolution after thermomechanical processing in an equiatomic, single-phase CoCrFeMnNi high-entropy alloy with special focus on twin boundaries, Intermetallics 54 (2014). 39-48, doi: 10.1016/j.intermet.2014.05.014.
- Ikeda Y., Tanaka I., Neugebauer J., Kormann F. Impact of interstitial C on phase stability and stacking-fault energy of the CrMnFeCoNi high-entropy alloy // Physical Review Materials. 2019. Vol. 3. Article 113603.
- Osintsev K., Konovalov S., Ivanov Y. Gromov V., Vorobyev S., Panchenko I. Characterization of Al-Co-Cr-Fe-Mn-Ni High-Entropy Alloy Coating Fabricated onto AA5083 Using Wire-Arc Additive Manufacturing. Metals. 2022; 12(10):1612, <https://doi.org/10.3390/met12101612>.
- Osintsev K., Konovalov S., Glezer A., Gromov V., Ivanov Y., Panchenko I. (2021). Research on the structure of Al₂.1Co_{0.3}Cr_{0.5}FeNi_{2.1} high-entropy alloy at submicro- and nanoscale levels. Materials Letters. 294, doi: 10.1016/j.matlet.2021.129717.
- Ivanov Y., Osintsev K., Gromov V., Konovalov S., Panchenko I. (2021). Deformation Behavior of a High-Entropy Al–Co–Cr–Fe–Ni Alloy Fabricated by Means of Wire-Arc Additive Manufacturing. Steel in Translation. 51. 27-32, doi: 10.1016/j.intermet.2014.05.014.
- Ivanov Y., Gromov V., Konovalov S., Shugurov V., Efimov M., Teresov A., Petrikova E., Panchenko I., Shiarova Y. (2022). Structure and Properties of Al-Co-Cr-Fe-Ni High-Entropy Alloy Subjected to Electron-Ion Plasma Treatment. Metals. 12. 1987, doi:10.3390/met12111987.
- Nevskii S., Sarychev V., Konovalov S., Osintsev K., Ivanov Y., Panchenko I., Gromov V. (2022). Modeling the mechanism of micro / nanostructured surface formation in Al-Co-Cr-Fe-Ni and Co-Cr-Fe-Mn-Ni high-entropy alloys treated with a high current pulsed electron beam. Letters on Materials. 12. 249-254, doi: 10.22226/2410-3535-2022-3-249-254.
- I-Shataif Y., Sivasankaran S., Al-Mufadi F., Alaboodi A., Ammar H. (2019). Manufacturing Methods, Microstructural and Mechanical Properties Evolutions of High-Entropy Alloys: A Review. Metals and Materials International. 26. 3, doi:10.1007/s12540-019-00565-z.
- Rogachev A.S. Structure, stability and properties of high entropy alloys. Fizika metallov i metallovedenie. 2020, vol. 121, no. 8, pp. 807-841. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0015323020080094>.

Information about the authors

S.V. Konovalov - Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for Research and Innovation Activities of the Siberian State Industrial University.

I.A. Panchenko - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Scientific Laboratory "Laboratory of Electron Microscopy and Image Processing" of the Siberian State Industrial University.

V.K. Drobyshev - is a researcher at the Laboratory of Electron Microscopy and Image Processing at 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 30 октября 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 06 мая 2024.

The article was received by the editorial board on 30 Oct. 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 06 May 2024.



Научная статья
2.6.17. Материаловедение (технические науки)
УДК 541.64

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.034



СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВКЛАДА ЭЛАСТОМЕРА В ФОРМИРОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЗИСТИВНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО МИКРОФОТОГРАФИЯМ СТРУКТУРЫ

Наталья Николаевна Минакова

Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия
minakova@asu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7665-8069>

Аннотация. Показано, что при конструировании резистивных композиционных материалов важно обеспечить комплекс электрофизических и теплофизических параметров. Рассматриваются наполненные техническим углеродом эластомеры, которые конструируются под широкий спектр рабочих характеристик. Выполнено комплексное исследование теплофизических свойств, наполненных техническим углеродом эластомеров. Показано влияние вида эластомера на теплофизические характеристики: коэффициент теплопроводности, коэффициент температуропроводности, удельная теплоемкость. Экспериментально установлено, что они уменьшаются при замене кристаллического каучука в качестве связующей основы на аморфный. Экспериментально обоснована связь энтропии текстурного признака и теплофизических характеристик с видом эластомера. Установлена корреляционная зависимость между энтропией текстурного признака, определенной по микрофотографиям структуры, значением объемного электрического сопротивления материала, его теплофизическими характеристиками. Сопоставлен диапазон изменения теплофизических характеристик и энтропии текстурного признака в зависимости от вида эластомера. Сделан вывод о пригодности текстурного параметра для оценки вклада эластомера в формирование величины объемного электрического сопротивления и его теплофизических характеристик, что расширяет возможность решения задач конструирования материалов с заданными свойствами.

Ключевые слова: изображение макроструктуры, резистивные полимерные композиционные материалы, эластомеры, объемное электрическое сопротивление, текстурный анализ, связующая основа, теплопередача, коэффициент теплопроводности, коэффициент температуропроводности, удельная теплоемкость.

Для цитирования: Минакова Н.Н. Сравнительная оценка вклада эластомера в формирование теплофизических характеристик резистивных композиционных материалов по микрофотографиям структуры // Ползуновский вестник. 2024. № 2, С. 255–259. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.034. EDN: <https://elibrary.ru/JZXFOB>.

Original article

COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE CONTRIBUTION OF ELASTOMER TO FORMATION OF THERMOPHYSICAL CHARACTERISTICS OF RESISTIVE COMPOSITE MATERIALS BASED ON MICROGRAPHS OF THE STRUCTURE

Natalia N. Minakova

Altai State University, Barnaul, Russia
minakova@asu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7665-8069>

Abstract. It is shown that when designing resistive composite materials, it is important to provide a set of electrophysical and thermophysical parameters. Elastomers filled with technical carbon are considered, which are designed for a wide range of performance characteristics. A comprehensive study of the thermophysical properties

of elastomers filled with technical carbon has been performed. The influence of the type of elastomer on the thermophysical characteristics is shown: thermal conductivity coefficient, thermal conductivity coefficient, specific heat capacity. It has been experimentally established that they decrease when replacing crystalline rubber as a binding base with an amorphous one. The relationship between the entropy of a textural feature and thermophysical characteristics with the type of elastomer is experimentally substantiated. A correlation has been established between the entropy of a textural feature determined from micrographs of the structure, the value of the volumetric electrical resistance of the material, and its thermophysical characteristics. The range of changes in the thermophysical characteristics and entropy of a textural feature depending on the type of elastomer is compared. It is concluded that the textural parameter is suitable for evaluating the contribution of elastomer to the formation of volumetric electrical resistance and its thermophysical characteristics, which expands the possibility of solving problems of designing materials with specified properties.

Keywords: macrostructure image, resistive polymer composite materials, elastomers, volumetric electrical resistance, textural analysis, binding base, heat transfer, thermal conductivity coefficient, thermal conductivity coefficient, specific heat capacity.

For citation: Minakova, N. N. (2024). Comparative assessment of the contribution of elastomer to formation of thermophysical characteristics of resistive composite materials based on micrographs of the structure. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 255-259. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.02.034. EDN: <https://JZXFOB>.

Резистивные полимерные композиционные материалы с углеродным наполнителем на основе эластомеров применяются для обеспечения надежности работы электротехнических устройств [1-3].

Подбор количественного и качественного состава основных компонентов (связующего эластомера и электропроводящего наполнителя технического углерода) позволяет конструировать широкий спектр рабочих характеристик. Характер отклика на эксплуатационное воздействие зависит от структуры материала [2].

Программирование многокомпонентной структуры на определенное поведение в заданных условиях является актуальной задачей, требующей разработки подходов к оценке свойств. Гетерогенность системы затрудняет оценку взаимосвязи «структура- свойства» на начальной стадии до трудоемких экспериментов по определяемой характеристике в зависимости от внешних факторов [2 - 4].

Существуют аналитические формулы оценки характеристик композиционных материалов, учитывающие концентрацию и размер частиц электропроводящего наполнителя [5]. Однако известно, что свойства таких материалов во многом определяются межфазной структурой, которая включает адсорбционный слой полимера, поверхностный слой наполнителя, сформированный под действием полимера [6 - 8]. Это делает невозможным корректные аналитические оценки.

Поэтому актуальна разработка подходов, позволяющих на стадии предварительной оценки выявить корректность подбора рецептурных и технологических факторов без полного комплекса экспериментов. Один из широко применяемых подходов – характеристики, определяемые по микрофотографиям структуры [9 - 11].

Для оценки характеристик, в том числе и в области материаловедения, используются различные признаки текстурного анализа микрофотографий структуры, основанные на измерении пространственных частот, описании структурных элементов и т.д. [11]. Признаки отражают различные аспекты текстуры, взаимосвязи между собой и подбираются под конкретную задачу. Общий формализованный подход отсутствует.

Для эластомеров с углеродным наполнителем разработан и апробирован определяемый по микрофотографиям структуры параметр, позволяющий оценивать изменение электропроводности анализируемого материала путем сравнения его с материалом, характеристики которого известны [10]. Однако перспективные области применения таких материалов требуют дополнительно к оценке динамики величины электропроводности подбора теплофизических характеристик, например, резисторы, нагреватели и т.д. [2- 3]. Их функциональное назначение включает процессы нагрева и теплопередачи, связанные с величиной электропроводности материалов и их теплофизическими характеристиками.

Поставлена задача определения параметра, позволяющего одновременно оценивать по микрофотографиям структуры электропроводность и теплофизические характеристики резистивных композиционных материалов в зависимости от вида эластомера.

Согласно литературным данным имеет место многофакторный процесс влияния материала связующей основы (эластомера) на структуру композиционного материала: расположение проводящих частиц в полимере, межфазное взаимодействие и т.д. [1-3]. Эти факторы связаны с рецептурными и технологическими процессами. На электропроводность и

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВКЛАДА ЭЛАСТОМЕРА В ФОРМИРОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЗИСТИВНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО МИКРОФОТОГРАФИЯМ СТРУКТУРЫ

теплопроводность действуют как сходные, так и различные факторы [7].

В наполненных полимерах структуры формируются на молекулярном и надмолекулярном уровнях. Надмолекулярная структурная организация влияет на теплофизические характеристики и на электропроводность через широкий спектр физико-химических процессов. Повышение температуры инициирует в первую очередь процессы в полимере и поверхностном слое наполнителя, формируемого при участии контактирующего с ним полимера [7]. Это могут быть процессы широкого спектра: диффузионные, возрастание подвижности наполнителя в связующей основе: частичная деструкция макромолекул полимера, изменение конформации молекулярных цепей вблизи межфазных границ раздела, ослабление связей полимер – полимер и т.д. [12 - 15]. Механизмы действия на материал имеют случайные сочетания [2,8].

Для выбранных объектов исследования анализировалась энтропия текстурного признака, отражающая хаотичность и сложность текстуры изображения неоднородной структуры. Энтропия текстурного признака показала корректность при анализе электропроводности [10]. Параметры вычислялись по матрице яркостной зависимости, формируемой по переходам значений яркости между соседними пикселями.

Было предположено, что этот параметр может работать и для теплофизических характеристик.

Согласно литературным данным полимерные прослойки в существе влияют на теплопроводность композиционного материала [7,8], поэтому для оценки вклада связующей основы применены эластомеры, значительно отличающиеся, согласно исследованиям, по числу и размерам прослоек [2]. Выбран кристаллический каучук (Butil Rubber, IIR по ASTM) в РФ БК-2055 и аморфный бутадиенметилстирольный каучук Styrene Butadiene Rubber (SBR по ASTM) в РФ СКМС-30АРК. Электропроводящий наполнитель – технический углерод П-234. концентрация технического углерода 80 массовых частей на 100 массовых частей каучука.

Величина объемного электрического сопротивления измерялась по стандартной методике на образцах – цилиндрах диаметром 0,03 и высотой 0,05 м [2].

Для измерения теплофизических характеристик применен анализатор температуропроводности DLF-1200. Измерения основаны на методе лазерной вспышки [16 - 18]. Тепло-

проводность определялась как отношение величины теплового потока к температурному градиенту. Для определения теплоемкости фиксировалась абсолютная разница между начальной и конечной температурами тыльной стороны образца [16 - 18].

Образцы – цилиндры шириной 12,7 мм и толщиной 1,3 – 2,2. мм. Размер выбран по размерам кюветы для исследования теплопроводности. Полученные образцы покрывались тонким слоем графитового спрея. для оптимизации поглощения импульса.

Для расчета характеристик задавали необходимые параметры каждого образца – масса, диаметр, высота и плотность, а также значения температур, при которых производится лазерная вспышка. Среднее находилось по всем «выстрелам» лазера по образцу (пять величин). в области температур от 30 °С до 70°С.

Экспериментальная проверка проводилась на микрофотографиях, полученных при увеличении 32000 [10]. Микрофотографии структуры переводились через порог отсечки в черно-белое изображение. Расчет выполнялся по плоской топологической модели, сформированной, исходя из следующего: $E(j,k)=1$ для всей поверхности, занятой частицами технического углерода, 0 в противном случае [10]. По квадратной площадке заданного размера определялся текстурный признак, реагирующий на перепады яркости второго порядка. Центр площадки - точка, в окрестности которой определяется текстура.

Строилась гистограмма частотного распределения: по горизонтальной оси – значение текстурного признака, по вертикальной – соответствующие значения выборочных частот P_k . Общий объем выборки текстурного признака по всему изображению составлял больше 100 значений. Полученная гистограмма количественно описывалась энтропией текстурного признака. Параметр определялся по следующей формуле [11]:

$$\Delta S_{\text{мекст}} = - \sum_{k=0}^{N-1} P_k \cdot \log_2 P_k$$

Расчеты показали, что при связующем эластомере БК-2055 среднее значение энтропии текстурного признака $\Delta=2,5$, при СКМС-30АРК. $\Delta=2,1$. Статистическая погрешность определялась по шести значениям и не превышала пять процентов.

Полученные результаты измерений теплофизических характеристик представлены на рис.1-3. Параметры представлены при двух температурах: левый столбец $t=50^\circ\text{C}$, правый столбец $t=70^\circ\text{C}$.

Результаты экспериментов показали, что все анализируемые характеристики зависят от вида материала связующей основы. При замене аморфного каучука в качестве связующей основы на кристаллический все рассматриваемые теплофизические характеристики возрастают.

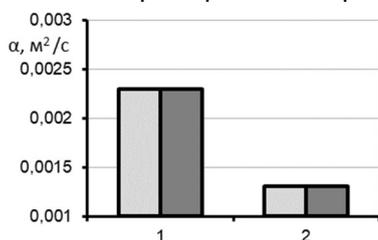


Рисунок 1 – Коэффициент температуропроводности в зависимости от вида эластомера. 1 – BK-2055, 2 – СКМС-30АРК

Figure 1 – Coefficient of thermal conductivity depending on the type of elastomer: 1 – BK-2055, 2 – SCMS-30ARK

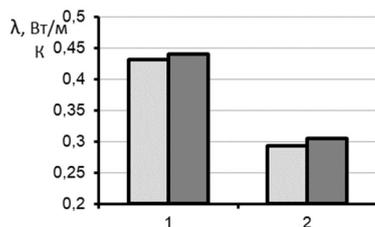


Рисунок 2 – Коэффициент теплопроводности в зависимости от вида эластомера: 1 – BK-2055, 2 – СКМС-30АРК

Figure 2 – Coefficient of thermal conductivity depending on the type of elastomer: 1 – BK-2055, 2 – SCMS-30ARK

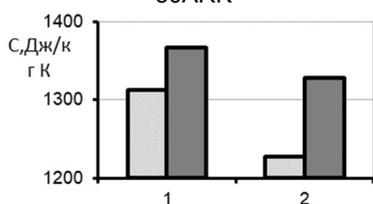


Рисунок 3 – Удельная теплоемкость в зависимости от вида эластомера: 1 – BK-2055, 2 – СКМС-30АРК

Figure 3 – Specific heat capacity depending on the type of elastomer: 1 – BK-2055, 2 – SCMS-30ARK

При уменьшении величины энтропии текстурного признака рассматриваемые теплофизические характеристики уменьшаются. Меньше коэффициент теплопроводности, соответственно, лучше теплоизоляционные свойства имеет материал при аморфном эластомере в качестве связующего.

Количественное изменение характеристик представлено в таблице 1. (среднее значение при статистической погрешности 3 – 7 %. Рассчи-

тывалось изменение величины параметра материала на основе СКМС=30АРК по отношению к материалу на основе BK-2055. Теплофизические характеристики сравнивались при t=50°C.

Таблица 1 – Вклад материала связующей основы в изменение параметров

Table 1 – The contribution of the binder material to the change of parameters

Параметр	Изменение параметра, %
Коэффициент температуропроводности (α)	43,48
Коэффициент теплопроводности (λ)	31,98
Удельная теплоемкость (с)	6,47
Энтропия текстурного признака (Э)	16

Выявлена корреляционная связь между энтропией текстурного признака, величиной объемного электрического сопротивления и анализируемыми теплофизическими характеристиками. Диапазон изменения характеристик различен. Величины объемного электрического сопротивления анализируемых материалов отличаются больше, чем в 30 раз [10]. Теплофизические характеристики отличаются не больше, чем на 50 % (табл.1). Коэффициенты температуропроводности и теплопроводности изменяются сильнее, чем значение энтропии текстурного признака. Удельная теплоемкость изменяется меньше, чем величина энтропии.

Представленные в работе результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Предложен подход, позволяющий оценивать динамику теплофизических характеристик по сопоставлению значений энтропий текстурного признака, рассчитанных по микрофотографиям материалов с известными и неизвестными свойствами.

2. Для повышения теплофизических характеристик целесообразно выбирать материала с кристаллическим полимером в качестве связующего.

3. Предложенный показатель позволяет оценивать вклад эластомера в формирование электропроводности материала и его теплофизических характеристик, что расширяет возможность решения задач конструирования материалов с заданными свойствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дисперсно-наполненные полимерные композиции технического и медицинского назначения/ Б.А. Люкшин (и др.); отв. ред. А.В. Герасимов Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2017 г., 311 с.
2. Гуль В.Е., Шенфильд Л.З. Электропроводящие полимерные композиции. М.: Химия, 1984. 240 с.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВКЛАДА ЭЛАСТОМЕРА В ФОРМИРОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЗИСТИВНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО МИКРОФОТОГРАФИЯМ СТРУКТУРЫ

3. Крикоров, В.С. Электропроводящие полимерные материалы /В.С. Крикоров, Л.А. Колмакова М.: Энергоатомиздат, 1984. 176с.

4. Минакова Н.Н. Моделирование процессов эксплуатационных воздействий для дисперсно – наполненных полимеров // Известия высших учебных заведений физика . 2000 Т. 43. № 1.С. 42 –45.

5. Дульнев Г.Н., Заричняк Ю.П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов Ленинград: Энергия, 1974. 264 с.

6. Тагер А.А. Физико-химия полимеров. М. : Научный мир, 2007. 576 с.

7. Липатов Ю.С. Физико-химические основы наполнения полимеров. М.: Химия, 1991. 260 с.

8. Алоев В.З., Козлов Г.В. Физика ориентационных явлений в полимерных материалах. Нальчик: Полиграфсервис. Т. 2002. 288 с.

9. Третьяков И.Н., Минакова Н.Н. Алгоритм разграничения доступа по радужной оболочке глаза для решения задач контроля доступа к информационным ресурсам // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, 2010, № 1-1 (21). с. 100-102.

10. Минакова Н.Н., Карпов С.А., Ушаков В.Я. Текстурированный анализ дисперсной структуры композитных эластомеров с модифицированным наполнителем //Известия высших учебных заведений. Физика. 2002, Т. 45, № 2, С. 80-83.

11. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: Пер. англ. М.: Мир, 1982.Кн.2. 480 с.

12. Фабуляк Ф. Молекулярное тепловое движение в поверхностных слоях полимеров 1991 303 с

13. Волков Д.П., Егоров А.Г., Мироненко М.Э.

Теплофизические свойства полимерных композиционных материалов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2017. Т. 17. № 2. С. 287–293.

14. Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С. Теплопередача. М.: Энергия, 1981. 416 с.

15. He X., Wang Y. Recent advances in the rational design of thermal conductive polymer composites //Industrial & Engineering Chemistry Research. 2021. Т. 60. № 3. С. 1137-1154.

16. Cowan R.D., Pulse Method of Measuring Thermal Diffusivity at High Temperatures // J. of Appl. Phys., 34, 926, (1963).

17. Cape J.A. and G.W. Lehman, Temperature and Finite. Pulse-Time Effects in the Flash Method for Measuring Thermal Diffusivity // J. of Appl. Phys., 34, 1909, (1963).

18. Инструкция по работе с прибором DLF-1200 URL: <https://www.directindustry.com.ru/prod/tainstruments/product-38477-1796308.html>. (Дата обращения 15.01.2024).

Информация об авторах

Н. Н. Минакова – доктор физико-математических наук, профессор, Алтайский государственный университет (Барнаул, Россия).

Information about the authors

N. N. Minakova – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Altai State University (Barnaul, Russia).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 30 октября 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 06 мая 2024.

The article was received by the editorial board on 30 Oct. 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 06 May 2024.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Абраменко Д. С.	217	Крюков Р. Е.	228
Агаркова Е. Ю.	155	Кудряшова О. Б.	200
Азаров Н. А.	193	Кузнецова А. А.	52
Актокалова Г. С.	164	Кузьмина С. С.	140
Апьянцева Ю. В.	27	Куликов Б. П.	208
Арисов А. В.	12	Лозовский И. В.	130
Ашихмина М. С.	37	Маняхин И. А.	193
Байковский Ю. В.	208	Махнев И. А.	228
Баланев Р. О.	208	Меренкова С. П.	46
Балуян Х. А.	96	Минаков В. Д.	217, 223
Бараненко Д. А.	27	Минакова Н.Н.	255
Барсуков А. Р.	217	Михно А. Р.	228
Безруких А. И.	208	Мосоров В. И.	182
Билялова А. С.	73	Мусина О. Н.	113
Бондаренко Н. И.	113	Нестеров В. А.	193
Борисова И. И.	27	Новокшанова А. Л.	73
Будникова Я. Н.	186	Орлова О. Ю.	37
Бурькин Е. А.	243	Орлова Т. В.	130
Вайтанис М. А.	89	Пак Ч. Г.	235
Васюнина Н. В.	208	Панченко И. А.	228, 249
Величко Н. А.	7	Першакова Т. В.	107
Вяткин А. В.	12	Портнов Н. М.	52
Гетманец В. Н.	124	Проценко А. Е.	186
Голых Р. Н.	217, 223	Проценко А. Н.	186
Горлов С. М.	107	Розен А. Е.	235
Гуз Е. А.	52	Самойло А. С.	208
Десяткин Д. И.	46	Санжаровская Н. С.	19
Демина Е. Н.	66	Семиряжко Е. С.	107
Джум Т. А.	79	Симоненкова А. П.	66
Домбровский Н. С.	208	Скорб Е. В.	37
Доровских Р. С.	200	Сметанин Д. О.	96
Дробышев В. К.	249	Сокол Н. В.	19
Дубова И. В.	208	Соловьева А. О.	66
Дунец Е. Г.	79	Стурова Ю. Г.	175
Жумалиева Г. Е.	164	Тамова М. Ю.	79
Журавлев Р. А.	79	Терентьев С. А.	193
Захарова А. С.	148	Титов С. С.	200
Иванова Е. А.	107	Тиунов В. М.	12
Кандрокоев Р. Х.	96	Уласевич С. А.	37
Карапетян А. М.	7	Урбах М. С.	175
Касымбек Р. К.	164	Усатюк Д. А.	113
Кикот В. В.	235	Халабурдина С. А.	130
Козубаева Л. А.	140	Халпахеева Н. Б.	182
Кондратенко В. В.	155	Хмелев В. Н.	193, 217
Конева С. И.	148	Ходырева З. Р.	89
Коновалов С. В.	228, 249	Цыганок С. Н.	217
Коробков К. С.	182	Чеботок Е. М.	12
Костюченко М. Н.	96	Черных В. Я.	96
Кох Д. А.	118	Чеснокова Н. Ю.	52
Кох Ж. А.	118	Чугунова О. В.	12
Кошелева М. К.	193	Шалунов А. В.	200, 193
Кошкин Г. А.	235	Щетинина Е. М.	73
Краснова В. Ф.	37		

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

Статья объёмом 5 страниц (по согласованию с редакцией, допускаются статьи объёмом от 3 до 10 страниц), имеющая индекс УДК, аннотацию и ключевые слова на русском языке, перевод метаданных статьи на английский язык, сведения об авторах (учёной степени, звания и места работы, e-mail и идентификаторе ORCID).

Работы принимаются в текстовом редакторе Microsoft Word.

Во вкладке «Разметка страницы»: используется *размер бумаги формата А4, ориентация листа книжная. Поля: верхнее – 3,5 см; нижнее – 2,5 см; левое – 2,5 см; правое – 2,5 см; переплет – 0 см*; В диалоге «Колонки» – «Другие колонки» выбирается расположение текста в «две» колонки, устанавливается *ширина колонок – 7,65 см, промежуток между ними – 0,7 см*. В диалоге «Расстановка переносов» выбирается «авто».

Во вкладке «Вставка» выбирается «Верхний колонтитул» – «Пустой», далее появляется вкладка «Конструктор», включаются «Особый колонтитул для первой страницы» и «Разные колонтитулы для четных и нечетных страниц». Колонтитулы от края: *верхний – 2,0 см; нижний – 2,0 см*.

Структура статьи в обязательном порядке должна содержать:

- Тип статьи (научная статья, обзорная статья), научная специальность, индекс УДК и doi (размещение в левом верхнем углу документа, каждая запись на отдельной строке, без точек).

- Названия статей набираются прописными буквами (шрифт «Arial», размер шрифта текста – 14 пунктов, полужирный) по центру документа.

- Имена, отчества и фамилии авторов размещаются под названием статьи (шрифт «Arial», размер шрифта текста – 12 пунктов), над фамилией ставят надстрочную цифру, по порядку, ниже все надстрочные цифры расшифровываются (сведения о месте работы, город, страна, адрес электронной почты и идентификатор ORCID авторов).

- Аннотацию формируют по ГОСТ Р 7.0.99. Объем аннотации от 150 до 250 слов. Перед аннотацией приводят слово «Аннотация» («Abstract»). Шрифт «Arial», размер шрифта – 10 пунктов, курсив, красная строка – 0,8 см, интервал между строками «одинарный». Аннотация должна быть информативной (не содержать общих слов), оригинальной, отражать основное содержание статьи и результаты исследования (обоснование, предмет, цель работы, метод или методологию проведения работы, область применения результатов, выводы).

- Перед ключевыми словами приводят слово «Ключевые слова» («Keywords») Количество ключевых слов или словосочетаний от 10 до 15. (шрифт «Arial», размер шрифта – 10 пунктов, курсив, красная строка – 0,8 см, интервал между строками «одинарный»).

- После ключевых слов могут быть приведены слова благодарности организациям, учреждениям, руководителям, могут быть приведены сведения о проектах, научно-исследовательских работах, финансировании и т.п. Эти сведения приводят с предшествующим словом «Благодарности» («Acknowledgements») (шрифт «Arial», размер шрифта – 10 пунктов, курсив, красная строка – 0,8 см, интервал между строками «одинарный»).

- Далее отделяют чертой строку и ниже пишут «Для цитирования» («For citation»), после вставляют библиографическую запись на статью для дальнейшего цитирования (составляют по ГОСТ Р.7.0.5-2008). После записи отделить чертой данный текст.

- После записи всех метаданных статьи на русском языке необходимо привести все метаданные на английском языке (отчества сокращают до буквы в английском языке).

- Основной текст (для основной части текста используется шрифт «Arial», размер шрифта основного текста – 10 пунктов, красная строка (отступ) – 0,8 см, интервал между строками «одинарный»).

Структура основного текста статьи:

- 1) **Введение** – в этом разделе описывается существующая научная проблема и представляется краткий литературный обзор по состоянию обозначенной проблемы.

- 2) **Методы / методология / методика исследований** – приводится теория или методика экспериментального исследования, приводится обоснование выбора данного материала и методов исследования.

- 3) **Результаты и их обсуждение** – раздел содержит краткое описание полученных теоретических или экспериментальных результатов. Результаты рекомендуется излагать в прошедшем времени. В обсуждении рекомендуется объяснить значимость вашего исследования. Показать, какие знания были получены результате исследования, обозначить их перспективы и сравнить их с существующим положением в данной области, описанным в разделе «Введение». Данные должны быть систематизированы и иметь логическую связь с текстом.

- 4) **Выводы** – этот раздел рекомендуется начать с нескольких фраз, подводящих итог проделанной работе, а затем в виде списка представляются основные выводы.

- 5) **Список литературы** (шрифт «Arial», размер – 9 пунктов) – не менее 10 позиций, оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления».

- Сведения об авторах приводится после списка литературы, с предшествующими словами «Информация об авторах» - инициалы, фамилия — учёная степень, звание, место работы, телефон);

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

- После приводят список литературы на латинице (REFERENCES) согласно стилю APA (American Psychological Association - <https://apastyle.apa.org>). Нумерация записей в дополнительном перечне должна совпадать с нумерацией записей в основном перечне затекстовых библиографических ссылок.

- Ниже приводятся сведения об авторах на английском языке после слов «Information about the authors».

- В конце статьи авторы должны указать об отсутствии или наличии конфликта интересов.

Для создания формул и таблиц используются встроенные возможности Microsoft Word. Рисунки цифрового формата (в электронном виде) создаются средствами Microsoft Word или другими программами и вставляются в нужное место документа, название таблиц и рисунков дублируются на английском языке.

Размеры рисунков не должны превышать границы полей страницы основного текста документа с учетом подрисуночной подписи. Рисунки издательством не редактируются. Если рисунок по ширине превышает размер колонки, то необходимо ставить перед ним и после него разрыв раздела на текущей странице и располагать рисунок в начале или в конце страницы.

Рисунки, надписи и объекты Microsoft Word должны перемещаться вместе с текстом, т.е. быть не поверх текста.

Шаблон для оформления статьи можно скачать на сайте журнала: <https://ojs.altstu.ru/index.php/PolzVest>.

К статье необходимо предоставлять следующие документы: **экспертное заключение, согласие каждого автора на размещение статьи, согласие на обработку персональных данных.**

К публикации принимаются статьи, **ранее нигде не опубликованные** и не представленные к печати в других изданиях. Статьи, отбираемые для публикации в журнале, проходят двухстороннее слепое рецензирование. Автор статьи имеет право предложить двух рецензентов по научному направлению своего исследования.

Публикации в журнал принимаются на русском и английском языках.

Электронная версия публикации должна быть отправлена в формате текстового редактора Microsoft Word (расширения .doc, .docx) по электронной почте по адресу polz_journal@mail.ru. Название файла формируется из фамилии и инициалов первого автора (к примеру, «ИвановАА.doc»). Если статей несколько, то к названию файла через знак подчеркивания добавляется порядковый номер (к примеру, «ИвановАА_1.doc»).

Все статьи будут проверены в системе «Антиплагиат», при оригинальности менее 75 % статьи будут возвращены авторам.

Контактная информация:

Алтайский край, г. Барнаул, пр-т Ленина, д. 46, 119 ГК, почтовый индекс: 656038.

Стопорева Татьяна Александровна – тел.: 8 (3852) 290946, e-mail: polz_journal@mail.ru.

Подписано в печать 05.07.2024. Формат 60×84 1/8. Печать цифровая.

Усл. п. л. 30,46 Тираж 100 экз. Заказ 2024 – 35.

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