



ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК

ISSN 2072-8921

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

*«Посвящается 255-летию создания
паровой машины И. И. Ползунова»*

№

7

2021

Ползуновский ВЕСТНИК

ISSN 2072-8921

Свидетельство о регистрации издания
ПИ № ФС 77-75624
выдано федеральной службой по надзору в сфере
связи, информационных технологий и массовых ком-
муникаций 19.04.2019 г.

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

Периодичность – 4 номера в год

№ 1 2021 г.

Научный журнал
входит в перечень ВАК

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)
Бессон Р., проф., директор Международного Российско-Французского центра инноваций и
трансфера технологий (г. Безансон, Франция)
Мэй Шунчи, проф., декан УТУ (г. Ухань, Китай)
Лыгденов Б.Д., д.т.н., проф. УТУ(г. Ухань, Китай)
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., Главный научный сотрудник Инжинирингового центра «Литейные
технологии и материалы» НИТУ МИСиС (г. Москва)
Батаев В.А., д.т.н., проф. НГТУ (г. Новосибирск)
Коновалов С.В., д.т.н., проф., зав. каф. «Технологии металлов и авиационного материаловедения»
Самарского университета (г. Самара)
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)
Попов В.Г., д.т.н., доц., зав. каф. «Товароведение и технологии продуктов питания» ТИУ (г. Тюмень)
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)

ОТВЕСТВЕННЫЙ 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, 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://journal.altstu.ru/polz_vestnik
Дата выхода в свет 31.03.2021 г.
Цена 600 рублей.

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

- М. А. Вайтанис*
Возможность использования амарантовой муки при производстве пюреобразных супов 4
- Е. В. Дубинина, Е. М. Севостьянова, Л. Н. Крикунова, О.Н. Ободеева*
Влияние минерального состава умягченной воды на качественные показатели спиртных напитков из растительного сырья 11
- А. С. Захарова, Е. Ю. Егорова*
Медовый мармелад с ядром кедровых орехов 20
- Л. А. Козубаева*
Применение конопляной муки при производстве кексов 27
- Д. В. Андриевская, М. А. Захаров, Е. В. Ульянова, О. Н. Ободеева*
Изучение влияния сахаросодержащего сырья на качественные характеристики коньяков 34
- В. П. Тарасов, А. В. Тарасов*
Силовое взаимодействие фаз двухкомпонентного потока со стенками канала 44
- Е. Ю. Егорова, А. С. Захарова, С. С. Кузьмина*
Использование пантогематогена и сухих растительных экстрактов в производстве напитков и сахарных кондитерских изделий 51
- Е. А. Лейтес, Л. С. Егорова, С. В. Темерев*
Анализ показателей качества молока и молочных продуктов, в том числе для детского питания 59
- И. С. Патракова, Г. В. Гуринович, О. М. Мышалова, С. А. Серегин, М. В. Патшина*
Окислительно-восстановительный потенциал как показатель стабильности мясных систем 66
- Н. Ю. Москаленко, С. Л. Тихонов, Н. В. Тихонова, О. А. Кудряшова, Л. С. Кудряшов*
Разработка устройства для увеличения продолжительности хранения пищевой продукции путем обработки низкотемпературной газовой плазмой 74
- А. А. Лукин, Ю. А. Бец, Н. Л. Наумова*
О возможности использования порошка из яблок сублимационной сушки в рецептуре мясного продукта 84
- L. A. Nadtochy, K. N. Tsige, M. S. Bulkran, A. V. Proskura, M. B. Muradova*
Preliminary study on dried green bottle fly *lucilia caesar* "Resource saving/diversification" 91
- Т. А. Матвеева, И. Ю. Резниченко, А. А. Мельникова*
Исследование качества с применением дескрипторно-профильного ранжирования и анализ потребительских свойств молочных консервов 99
- А. А. Королев, С. О. Смирнов, О. Ф. Фазуллина*
Определение критических контрольных точек при производстве макаронных изделий 106
- И. Ю. Резниченко, В. О. Бочкарева, Я. И. Гущина*
Оценка качественных характеристик и потребительских свойств вторых обеденных блюд 113

РАЗДЕЛ 2. ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

- О. М. Горелова, В. А. Сомин, Л. Ф. Комарова, М. С. Некрасов*
Обоснование выбора растворителя для производства асбестотехнических изделий на основе бутадиен-нитрильного каучука 121
- И. Г. Чигаев*
Методы ультра- и нанофильтрации для очистки хромсодержащих сточных вод гальванических производств 125
- Л. Ф. Комарова, В. А. Сомин*
Оптимизация работы очистных сооружений нефтесодержащих стоков предприятий машиностроительного профиля 131
- С. В. Темерев, Л. С. Егорова, И. В. Индюшкин, С. П. Ганиман, Т. И. Колесникова, Е. А. Лейтес*
Экстракционно-атомно-абсорбционное определение цинка (II) в кислых водных растворах 135

РАЗДЕЛ 3. МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

*К. А. Осинцев, В. Е. Громов, С. В. Коновалов,
И. А. Панченко, Е. С. Ващук*

Структурно-фазовое состояние высокоэнтропийного сплава Al-Co-Cr-Fe-Ni, полученного проволочно-дуговой аддитивной технологией 141

А. А. Бердыченко, С. Г. Иванов, М. А. Гурьев
Исследование причин разрушения подвесов проводов ЛЭП методами структурно-фазового металлографического анализа 147

*Н. В. Коренева, В. В. Коньшин, А. Н. Афаньков,
В. А. Крахмалев, А. А. Беушев*

Получение декоративных плитных материалов на основе опилок сосны обыкновенной 154

*В. П. Панков, А. Л. Бабаян, М. В. Куликов,
В. А. Коссой, Б. С. Варламов*

Теплозащитные покрытия лопаток турбин авиационных газотурбинных двигателей 161

Н. Н. Минакова

Влияние вида полимера на размерность Минковского при оценке электропроводящих свойств многокомпонентных материалов 173

С.А. Хапёрских, Е. С. Ананьева, А. А. Коркина

Особенности структурообразования эпоксидной смолы в процессе отверждения аминным отвердителем 179

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ 187

РАЗДЕЛ 1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Научная статья

05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов плодовоовощной продукции и виноградарства (технические науки)

УДК 641.55

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.001

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АМАРАНТОВОЙ МУКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПЮРЕОБРАЗНЫХ СУПОВ

Марина Александровна Вайтанис

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия
gazenauer@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5012-6304>

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы, касающиеся разработки рецептур пюреобразных супов из чечевицы с добавлением амарантовой муки, а также определению количества муки, обеспечивающей наилучшие органолептические показатели в сравнении с контролем. Первые обеденные блюда являются основными в каждодневном рационе человека, поскольку могут удовлетворить суточную потребность организма в необходимых питательных веществах. Важной задачей, стоящей перед предприятиями питания, – это удовлетворение различных вкусовых предпочтений потребителей. Поэтому изучение предпочтений потенциальных потребителей и расширение имеющегося ассортимента пюреобразных супов, реализуемых на предприятиях общественного питания, является актуальным. Учитывая популярность и необходимость для организма человека первых обеденных блюд, целью работы является разработка рецептуры супов-пюре из чечевицы с добавлением амарантовой муки. Для реализации поставленной цели был проведен анализ ассортимента пюреобразных супов на предприятиях общественного питания г. Барнаула, выявлены вкусовые предпочтения потенциальных потребителей. Разработаны рецептуры супов-пюре из чечевицы с добавлением амарантовой муки. Проведена дегустационная оценка и определены основные функционально-технологические показатели качества пюреобразных супов из чечевицы с амарантовой мукой. Установлено, что суп-пюре с 20 % амарантовой муки, обеспечивает наилучшие органолептические показатели в сравнении с контрольным образцом. Результаты проведенных исследований подтверждают, что внесение амарантовой муки в пюреобразные супы из чечевицы позволяет не только улучшить органолептические показатели качества, но и повысить пищевую ценность блюда. Установлено, что вносимая мука в крупяной пюреобразный суп не ухудшает санитарно-гигиеническую доброкачественность продукции и соответствует требованиям ТР ТС 021/2011.

Ключевые слова: пюреобразные супы, чечевица, амарантовая мука, органолептические показатели, функционально-технологические показатели.

Благодарности: работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки РФ (мнемокод 0611-2020-013; номер темы FZMM-2020-0013, ГЗ № 075-00316-20-01)».

Для цитирования: Вайтанис М.А. Возможность использования амарантовой муки при производстве пюреобразных супов // Ползуновский вестник. 2021. № 1. С. 4–10. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.001.

THE POSSIBILITY OF USING AMARANTH FLOUR IN THE PRODUCTION OF PUREED SOUPS

Marina A. Vaitanis

Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia
gazenauer@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5012-6304>

Abstract. *The article discusses issues of the development of recipes for pureed lentil soups with the addition of amaranth flour, as well as determining the amount of flour that provides the best organoleptic parameters in comparison with the check sample. The first lunch courses are the main ones in the daily diet of a person, because it can meet the daily need of the human body for the necessary nutrients. Meeting of the various taste preferences of consumers is a significant task for food companies. Thus, the study of the preferences of potential consumers and the expansion of the available range of pureed soups at public catering enterprises are important. Taking into account the popularity and necessity of the first lunch courses for the human body, the aim of the paper is to develop a formulation for lentil soups with the addition of amaranth flour. To achieve the aim, the range of pureed soups at public catering enterprises in Barnaul was analyzed and the taste preferences of potential consumers were found out. Recipes for lentil soups with the addition of amaranth flour have been developed. A tasting evaluation was conducted and the main functional and technological parameters of the quality of pureed lentil soups with amaranth flour were defined. It was established that the soup-puree with 20 % amaranth flour provides the best organoleptic parameters in comparison with the check sample. The results of the research confirm that the introduction of amaranth flour in pureed lentil soups improve the organoleptic quality parameters and also increase the nutritional value of the course. It is established that the introduced flour in the cereal puree soup does not disimprove the sanitary and hygienic quality of the product and satisfies the requirements of TR CU 021/2011.*

Keywords: *pureed soups, lentils, amaranth flour, organoleptic parameters, functional and technological indicators.*

Acknowledgements: *The paper was made under the State Assignment № 075-00316-20-01 of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (mnemonic code 0611-2020-013; theme number FZMM-2020-0013).*

For citation: Vaitanis, M. A. (2021). The possibility of using amaranth flour in the production of pureed soups. *Polzunovskiy vestnik*, 1, 4–10. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.001

Разработка пюреобразных супов из крупяных культур на предприятиях общественного питания является актуальным направлением. Супы имеют значительный удельный вес в общем объеме продукции собственного производства индустрии питания. Огромная роль супов в рациональном питании, т. к. они обеспечивают организм человека энергией, помогают активизировать обмен веществ, оказывают влияние на восстановление водно-солевого баланса. Супы являются прекрасным источником питательных веществ, они пополняют содержание в организме углеводов, жиров, белков, минеральных веществ, витаминов группы В, С и пищевых волокон. В пюреобразной форме легче происходит усвоение пищи, супы имеют привлекательный внешний вид, что делает эти блюда все более популярными среди потребителей [1, 2, 3].

В меню предприятий общественного пи-

тания всегда присутствуют разнообразные супы. Их ассортимент отражает вкусовые предпочтения посетителей и специфику заведений в данном конкретном регионе.

На протяжении нескольких лет в меню предприятий питания г. Барнаула в основном представлены пюреобразные супы из тыквы, грибов и сыра. Данный ассортимент супов предлагают в таких заведениях, как рестораны: «Velvet», «QQLex», «Барнаул», «Аджика», «КинзаМята», «Gold of Packard», «ПилиШвили», «Damiani», в кафе: «Русь», «Лукошко» и «Вензель» и многих других предприятиях. Но также на предприятиях питания предлагают для посетителей пюреобразные супы из необычных ингредиентов, таких как лосось, шпинат. Однако представленный ассортимент супов-пюре достаточно ограничен. В связи с недостаточно широким ассортиментом пюреобразных супов было принято решение о разработке супов-пюре из крупяных

культур с добавлением амарантовой муки, что позволит удовлетворить вкусовые предпочтения многих потребителей и тем самым привлечь большее количество посетителей в заведениях.

Цель исследования

Разработка рецептур и оценка потребительских свойств пюреобразных супов из чечевицы с добавлением амарантовой муки.

Задачи исследования:

- изучить ассортимент супов-пюре, реализуемых на предприятиях питания г. Барнаула;
- определить вкусовые предпочтения потенциальных потребителей;
- разработать рецептуры супов-пюре из чечевицы с добавлением амарантовой муки;
- исследовать качество супов-пюре из чечевицы с амарантовой мукой в сравнении с контрольным образцом, выработанным по традиционной рецептуре;
- определить количество вносимой амарантовой муки, обеспечивающей наилучшие органолептические показатели пюреобразных супов;
- исследовать микробиологические показатели супов-пюре.

Материалы и методы исследования

Экспериментальные исследования были реализованы на базе Центра комплексных исследований и экспертной оценки пищевой продукции «АлтайБиоЛакт». Объектом исследования были пюреобразные супы из чечевицы с амарантовой мукой (опытные образцы). Для проведения сравнительного анализа пюреобразных супов использовали суп-пюре, выработанный по традиционной рецептуре, без добавления амарантовой муки (контрольный образец). В исследованиях использовали амарантовую муку (производитель ООО «Фабрик Органик продукт» по ТУ 9146-017-70834238-11). Сырье, применяемое для приготовления пюреобразных супов, соответствует требованиям нормативно-технической документации и ТР ТС 021/2011 [4].

Дегустацию пюреобразных супов с амарантовой мукой осуществляли по 5-балльной шкале в соответствии с требованиями ГОСТ 31986-201 [5]. Определение массовой доли сухих веществ осуществляли по ГОСТ Р 54607.4-2015 [6]. Определение влагосвязывающей способности (ВСС) проводили методом прессования, рН – потенциометрическим методом, вязкость – с помощью визкозиметра, стабильность эмульсии и эмульгирующую способность – методом центрифугирования [7]. Микробиологические показатели в супах-пюре определяли в соответствии с

требованиями ГОСТ Р 54607.9-2016 [8].

Результаты и их обсуждение

С целью установления вкусовых предпочтений потенциальных потребителей относительно выбора первых обеденных блюд был проведен социологический опрос, в котором участвовало 105 респондентов, проживающих в г. Барнауле. На первом месте при выборе первых обеденных блюд у опрашиваемых находятся заправочные супы (47,1 %), на втором месте – пюреобразные супы (35,3 %), далее – прозрачные супы (14,7 %) и 2,9 % респондентов совсем не любят супы и соответственно не заказывают их на предприятиях питания. Также выяснили, что из предлагаемого ассортимента пюреобразных супов на предприятиях питания для респондентов предпочтительнее супы: мясные (42,9 %), грибные (28,6 %), овощные (13,9 %) и бобовые (2,9 %). Данная ситуация объясняется тем, что в заведениях предлагают пюреобразные супы только из гороха, соответственно и спрос на супы-пюре из других бобовых культур не высокий. При проведении социологического опроса респонденты проявили значительный интерес к пюреобразным супам из бобовых культур, в частности из чечевицы, что и послужила выбором данной культуры.

Чечевица по своему химическому составу не уступает другим бобовым культурам (кроме сои по содержанию белка и жира), в частности содержание белка – 28 %, жира – 1 %, крахмала – 47,0 %. Кроме того, она является источником витаминов группы В, а также макроэлементов (фосфора, калия, магния) и микроэлементов (железа, цинка и марганца) [1, 9].

Для проведения исследований были составлены рецептуры супов-пюре из чечевицы, в которые добавляли от 5 до 25 % амарантовой муки взамен пшеничной, с целью установления количества вносимой муки, обеспечивающей наилучшие органолептические показатели готового блюда. Подготовленные опытные образцы оценивали по качеству в сравнении с контролем.

Результаты дегустационной оценки опытных образцов в сравнении с контролем приведены на рисунке 1. По внешнему виду супы представляют собой однородную массу, без комочков заварившейся муки, кусочков не протертых продуктов и отслоившейся водной части. Цвет у всех образцов соответствует основным ингредиентам, входящим в состав. Вкус супов нежный с привкусом входящих в него компонентов.

Опытный образец с добавлением 5 % амарантовой муки имеет более жидкую консистенцию в сравнении с остальными образ-

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АМАРАНТОВОЙ МУКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПЮРЕОБРАЗНЫХ СУПОВ

цами. При добавлении 10 % амарантовой муки органолептические показатели качества супа не значительно улучшаются. При этом консистенция становится плотнее.

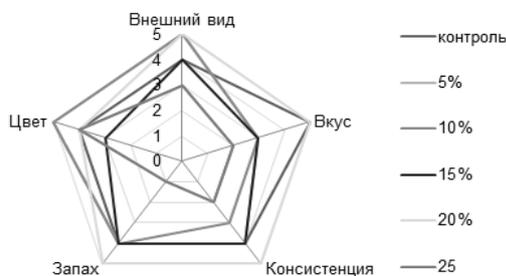


Рисунок 1 – Профиллограмма органолептической оценки супов-пюре из чечевицы с амарантовой мукой

Figure 1 – Organoleptic evaluation profile of lentil puree soups with amaranth flour

Внесение муки в количестве 20 % приводит к загущению консистенции, при этом вкус и запах нежнее и гармоничнее. Дальнейшее увеличение дозы муки в количестве 25 % приводит к тому, что у образца начинает преобладать более выраженный мучной запах и привкус. Также происходят и изменения в консистенции, она становится очень плотной и вязкой [10].

Дегустационная оценка исследуемых образцов показала отличия в показателях и выявила, что наиболее гармоничным является образец с добавлением 20 % амарантовой муки. По результатам проведенной дегустации исследуемых образцов в сравнении с контролем можно сделать вывод, что внесение амарантовой муки оказывает влияние на все органолептические показатели, кроме цвета.

Различная доза внесения амарантовой муки значительно повлияла на выход образцов супов-пюре из чечевицы (рисунок 2).

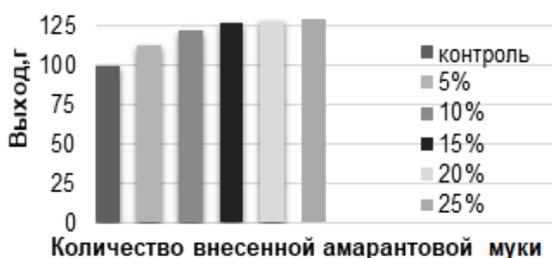


Рисунок 2 – Зависимость выхода супов-пюре из чечевицы с амарантовой мукой

Figure 2 – Dependence of the yield of lentil puree soups with amaranth flour

Из рисунка 2 видно, что добавление амарантовой муки в пюреобразные супы из чечевицы приводит к увеличению выхода блюда в сравнении с контрольным образцом.

Количество сухих веществ в продукте может говорить о его пищевой ценности и влиянии на организм человека. Массовая доля сухих веществ возрастает с увеличением количества внесения амарантовой муки, и наибольшее содержание отмечается у образца с 25 % (рисунок 3).

Поскольку крахмал амарантовой муки содержит большое количество амилопектина (от 85 до 93 %), его амилографическая вязкость увеличивается, особенно при дозе муки в количестве 20 % (рисунок 4). Дальнейшее добавление муки влечет за собой увеличение активности амилозы, вследствие чего степень вязкости снижается, и кривая падает вниз.

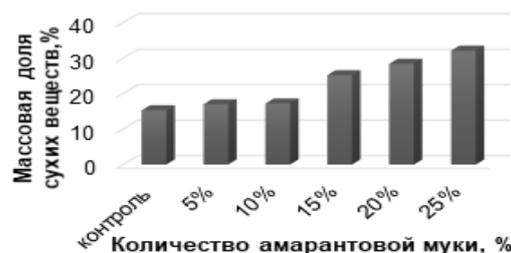


Рисунок 3 – Зависимость массовой доли сухих веществ в пюреобразных супах от количества внесения амарантовой муки в сравнении с контролем

Figure 3 – Dependence of the mass fraction of dry substances in puree-like soups on the amount of amaranth flour application in comparison with the control

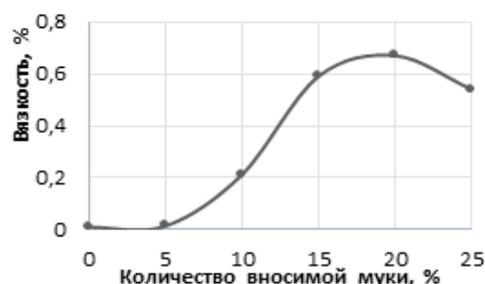


Рисунок 4 – Зависимость вязкости супов-пюре из чечевицы от дозы внесения амарантовой муки

Figure 4 – Dependence of the viscosity of lentil puree soups on the dose of amaranth flour application

Крахмал амарантовой муки характеризуется высокой влагосвязывающей способностью (ВСС), благодаря высокому содержанию в нем амилопектина и очень маленьким размерам крахмальных зерен.

При добавлении муки в количестве 10 %

ВСС резко возрастает, далее при дальнейшем увеличении дозы внесения муки, способность связывать влагу медленно нарастает (рисунок 5). Рост данного показателя значительно влияет на состояние супов в период их реализации.

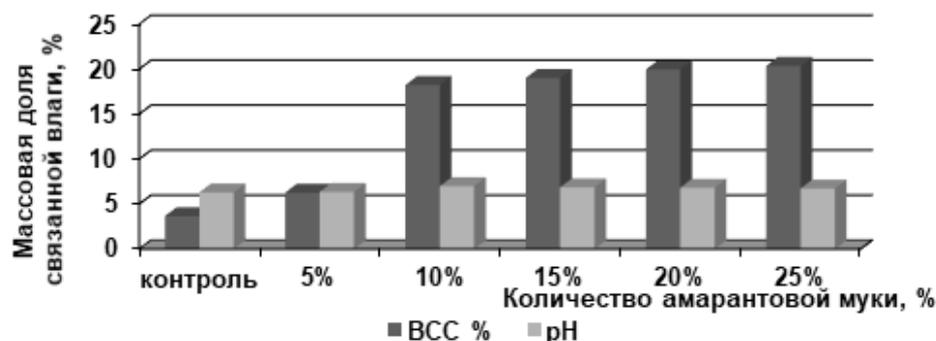


Рисунок 5 – Зависимость ВСС и pH в супах-пюре из чечевицы с амарантовой мукой в сравнении с контролем

Figure 5 – Dependence of BCC and pH in lentil puree soups with amaranth flour in comparison with the control

Стабильность эмульсии при добавлении муки, начиная с 5 % резко возрастает, при дальнейшем увеличении дозы муки происходит уменьшение показателя. Данная ситуация связана с воздействием амилозы на структуру образовавшихся гелей.

В свою очередь, эмульгирующая способность образцов возрастает с постепенным увеличением количества муки. Это зависит от качества белка, содержащего в амарантовой

муке, и, как известно, белки с высокими функционально-технологическими свойствами лучше растворяются. Внесение амарантовой муки не значительно влияет на кислотность среды.

Зависимость стабильности эмульсии и эмульгирующей способности в супах-пюре из чечевицы от количества внесения амарантовой муки приведена на рисунке 6.

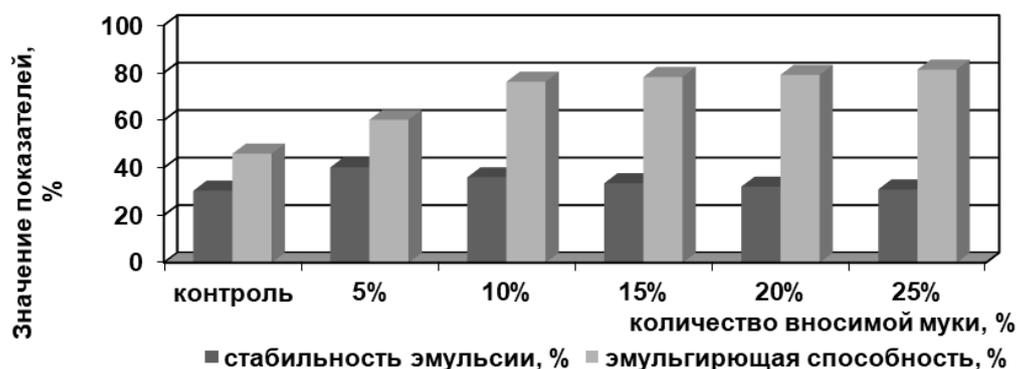


Рисунок 6 – Зависимость стабильности эмульсии и эмульгирующей способности супов-пюре из чечевицы с амарантовой мукой в сравнении с контролем

Figure 6 – Dependence of the stability of the emulsion and the emulsifying ability of lentil soups with amaranth flour in comparison with the control

Для установления доброкачественности и санитарного состояния супов-пюре из чечевицы с амарантовой мукой определяли качественный и количественный состав микрофлоры. В таблице 1 представлены результаты

микробиологических показателей в пюреобразном супе из чечевицы с добавлением 20 % амарантовой муки в сравнении с контрольным образцом.

При проведении исследований микро-

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АМАРАНТОВОЙ МУКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПЮРЕОБРАЗНЫХ СУПОВ

биологических показателей в супах-пюре было выявлено, что полученные значения не превышают допустимые уровни по ТР ТС 021/2011 [4].

Таблица 1 – Микробиологические показатели супа-пюре из чечевицы с 20 % амарантовой муки в сравнении с контролем

Table 1 – Microbiological parameters of lentil soup with 20 % amaranth flour in comparison with the control

Микробиологические показатели	Допустимые уровни по ТР ТС 021/2011	Контрольный образец	Суп-пюре из чечевицы с 20 % амарантовой муки
Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, КОЕ/г, не более	5×10^2	$3,20 \times 10^2$	$3,78 \times 10^2$
Бактерии группы кишечных палочек (колиформы) не допускается в массе продукта, г	1,0	0,58	0,64

Установлено, что внесение амарантовой муки в пюреобразные супы из чечевицы приводит к обогащению их пищевыми волокнами, скваленом, увеличению содержания витаминов группы В, витаминов РР, С. Кроме того, увеличивается содержание таких макроэлементов, как калия, натрия, фосфора, магния и микроэлемента – железа. В 250 г супа-пюре из чечевицы с добавлением амарантовой муки в количестве 20 % обеспечивается суточная потребность в белках на 41,2 %, пищевых волокнах на 34,0 %, в витаминах: В₁ на 34,5 %, В₂ на 13,9 %, С на 10,4 %, РР на 41,8 %; в макроэлементах: калия на 25,9 %, натрия на 37,3 %, фосфора на 57,9 %, магния на 23,2 %; в микроэlemente: железа на 65,7 % [1].

Выводы

Установлены вкусовые предпочтения потребителей при выборе пюреобразных супов на предприятиях питания г. Барнаула. Разработаны рецептуры супов-пюре на основе чечевицы с амарантовой мукой и проведена оценка качества в сравнении с контрольным образцом. Количество вносимой амарантовой муки, необходимой для достижения наилучших органолептических показателей пюреобразных супов, составило 20 % взамен пшеничной муки. Установлено, что вносимая в крупяной пюреобразный суп амарантовая мука не ухудшает санитарно-гигиеническую доброкачественность продукции и соответствует требованиям ТР ТС 021/2011 [4]. Также установлено, что внесение амарантовой муки в пюреобразные супы из чечевицы приводит к обогащению их пищевыми волокнами, увеличению содержания витаминов группы В, витамина С и РР в сравнении с контролем. Увеличилось содержание макроэлементов –

калия, натрия, магния, фосфора и микроэлемента – железа [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скурихин И.М., Тутельян В.А. Химический состав российских продуктов питания : Справочник. – М. : ДеЛипринт, 2002. – 236 с.
2. Лебедева Н.Г., Борисова А.В. Разработка технологии приготовления супа-пюре с использованием различных способов тепловой обработки // Вестник КрасГАУ. – 2019. – № 3. – С. 148–153.
3. Вайтанис М.А. Исторические и научные основы возникновения и приготовления супов // Пятнадцатая международная научно-практическая конференция «Современные проблемы техники и технологии пищевых производств» (29 ноября 2013 г.). – Барнаул : Изд-во Алт. гос. тех. ун-та, 2013. – С. 286–292.
4. О безопасности пищевой продукции : Технический регламент таможенного союза № 021/2011 : [принят решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 года N 880]. – Москва : Изд-во стандартов, 2011. – 242 с..
5. ГОСТ 31986-2012. Услуги общественного питания. Метод органолептической оценки качества продукции общественного питания : утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 июня 2013 г. № 196-ст : дата введения 2015-01-01. – Москва : Изд-во стандартов, 2012. – 12 с.
6. ГОСТ Р 54607.4-2015. Услуги общественного питания. Методы лабораторного контроля продукции общественного питания. Часть 4. Методы определения влаги и сухих веществ : утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 19 ноября 2015 г. № 1884-ст. – дата введения – 2016-06-01. – Москва : Изд-во стандартов, 2015. – 11 с.
7. Антипова Л.В., Глотова И.А., Рогов И.А. Методы исследования мяса и мясных продуктов. – М. : Колос, 2001. 376 с.

8. ГОСТ Р 54607.9-2016. Услуги общественно-го питания. Методы лабораторного контроля продукции общественного питания. Часть 9. Микробиологические испытания : утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 2 сентября 2016 г. № 1031-ст : дата введения 2017-01-01. – Москва : Изд-во стандартов, 2016. – 11 с.

9. Васнева И.К., Бакуменко О.Е. Чечевица – сырье для производства продуктов антистрессовой направленности // Пищевая промышленность. – 2010. – № 8. – С. 20–22.

10. Шушакова Г.А., Вайтанис М.А. Влияние амарантовой муки на качество супов-пюре из круп // Материалы III межрегиональной конференции (с международным участием) «От биопродуктов к биоэкономике» (7–8 ноября 2019 г.) ; под ред. А.Н. Лукьянова. – Барнаул : Изд-во Алт. гос. тех. ун-та, 2019. – С.152–156.

Информация об авторах

М. А. Вайтанис – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии продуктов питания» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

REFERENCES

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

2. Lebedeva, N.G. & Borisova, A.V. (2019). The development of the technology of soup-puree preparation using various methods of heat treatment. *Vestnik KrasGAU*, (3), 148–153. (In Russ.).

3. Vaitanis, M.A. (2013). Historical and scientific foundations of the origin and preparation of soups. *Proceedings Fifteenth International Scientific-practical*

Conference «Modern problems of food production engineering and technology». Barnaul: ASTU. (pp. 286–292). (In Russ.).

4. Technical regulations of the Customs Union. About food safety. (2011). *TRTS No. 021/2011 from December 9, 2011*. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).

5. Catering services. Method of organoleptic assessment of the quality of public catering products. (2012). *HOST 31986-2012.from 1 January 2015*. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).

6. Catering services. Methods of laboratory control of public catering products. Part 4. Methods for determining moisture and dry creatures. (2015). *HOST R 54607.4-2015 from 19 November 2015*. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).

7. Antipova, L.V., Glotova, I.A. & Rogov, I.A. (2001). *Methods of research of meat and meat products*. Moscow: Kolos. (In Russ.).

8. Catering services. Methods of laboratory control of public catering products. Part 9. Microbiological tests. (2016). *HOST R 54607.9-2016 from 2 Sep. 2016*. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).

9. Vasneva, I.K. & Bakumenko, O.E. (2010). Lentils-raw materials for the production of anti-stress products. *Food industry*, (8), 20–22. (In Russ.).

10. SHushakova, G.A. & Vaitanis, M.A. The influence of amaranth flour on the quality of soups-mashed cereals. *Proceedings of the 3rd Interregional Conference (with International participation) «From Bio-products to bio economics»*. A.N. Luk'yanova (Ed.). Barnaul: ASTU. (pp. 152–156). (In Russ.).

Information about the authors

M. A. Vaitanis, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Food Technology» of the Polzunov Altai State Technical University.

Статья поступила в редакцию 28.01.2021; одобрена после рецензирования 12.02.2021; принята к публикации 27.02.2021.

The article was received by the editorial board on 28 Jan 21; approved after reviewing on 12 Feb 21; accepted for publication on 27 Feb 21.

Научная статья

05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов плодовоовощной продукции и виноградарства (технические науки)

УДК 663.3

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.002

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА УМЯГЧЕННОЙ ВОДЫ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СПИРТНЫХ НАПИТКОВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Елена Васильевна Дубинина ¹, Елена Михайловна Севостьянова ²,
Людмила Николаевна Крикунова ³, Ольга Николаевна Ободеева ⁴

^{1, 2, 3, 4} Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова, Москва, Россия

¹ elena-vd@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8364-9539>

² waterlena@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8307-8329>

³ cognac320@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7335-0453>

⁴ cognac320@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1068-4245>

Аннотация. Одним из важнейших компонентов спиртных напитков на основе дистиллятов из растительного сырья, в том числе фруктового, является умягченная вода, входящая в состав купажа. В настоящее время при производстве таких спиртных напитков контролируется только жесткость умягченной воды. Имеются крайне ограниченные сведения о влиянии минерального состава воды на органолептические характеристики напитков типа виски, плодовых водок и других, произведенных на основе дистиллятов из растительного сырья. Спиртные напитки на основе дистиллятов имеют принципиальные отличия по составу летучих компонентов от водок, производимых на основе спирта-ректификата. Летучие компоненты дистиллятов создают основу вкусо-ароматических профилей спиртных напитков. Исследований по влиянию минерального состава умягченной воды на органолептические характеристики спиртных напитков на основе дистиллятов из растительного сырья ранее не проводилось. В этой связи цель работы состояла в выявлении взаимосвязи между минеральным составом воды и качественными характеристиками спиртных напитков. Проведена оценка минерального состава 10 образцов умягченной воды с использованием ионообменной хроматографии и атомно-абсорбционной спектрофотометрии. Опытные образцы спиртных напитков готовили на основе дистиллятов, полученных из ячменного солода и смеси ячменный солод-рожь. Образцы спиртных напитков различались по составу летучих компонентов и минеральному составу. Установлено, что при использовании дистиллятов с более высокой концентрацией высших спиртов, для получения спиртных напитков стабильно высокого качества, в составе умягченной воды необходимо повышать концентрацию катионов Na⁺, а также хлоридов, сульфатов и гидрокарбонатов. На основании проведенных исследований научно обоснованы требования к минеральному составу умягченной воды для спиртных напитков с определенным составом и соотношением летучих компонентов.

Ключевые слова: умягченная вода, способы водоподготовки, минеральный состав, дистилляты из растительного сырья, летучие компоненты, спиртные напитки, концентрация катионов, органолептические свойства, дегустационная оценка, требования к умягченной воде.

Для цитирования: Влияние минерального состава умягченной воды на качественные показатели спиртных напитков из растительного сырья / Е.В. Дубинина, Е.М. Севостьянова, Л.Н. Крикунова, О.Н. Ободеева. // Ползуновский вестник. 2021. № 1. С. 11–19. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.002.

INFLUENCE OF MINERAL COMPOSITION OF SOFTWATER WATER FOR QUALITATIVE INDICATORS OF ALCOHOLIC DRINKS FROM VEGETABLE RAW MATERIALS

Elena V. Dubinina ¹, Elena M. Sevostyanova ²,
Lyudmila N. Krikunova ³, Olga N. Obodeeva ⁴

^{1, 2, 3, 4} Federal Scientific Center for Food Systems V.M. Gorbатов, Moscow, Russia

¹ elena-vd@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8364-9539>

² waterlena@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8307-8329>

³ cognac320@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7335-0453>

⁴ cognac320@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1068-4245>

Abstract. *One of the most important components of alcoholic beverages based on distillates from vegetable raw material, including fruit, is softened water, which is part of the blending. Currently, only the hardness of softened water in the production of the alcoholic beverages is controlled. There is extremely limited information about the influence of the mineral composition of water on the organoleptic characteristics of beverages, such as whiskey, fruit vodkas and others, produced on the basis of distillates from vegetable raw material. Alcoholic beverages based on distillates have fundamental differences in the composition of volatile components from vodkas, produced on the basis of rectified alcohol. The basis of the flavor and aroma profiles of alcohols is formed with volatile components of distillates. Studies on the influence of the softened water's mineral composition on the organoleptic characteristics of alcoholic beverages based on distillates from vegetable raw materials have not been previously conducted. Thereby, the aim of the work is to identify the correlation between the mineral composition of water and the quality characteristics of alcoholic beverages. The assessment of the mineral composition of 10 samples of softened water was carried out using ion-exchange chromatography and atomic absorption spectrophotometry. Test samples of alcoholic beverages were prepared on the basis of distillates, obtained from barley malt and a mixture of barley malt and rye. The samples of alcoholic beverages differed in the composition of volatile components and mineral composition. It was found that it is necessary to increase the concentration of Na⁺ cations, as well as chlorides, sulfates and hydrocarbonates in softened water when using distillates with a higher concentration of higher alcohols in order to obtain alcoholic beverages of consistently high quality. On the basis of our research, the requirements for the mineral composition of softened water for alcoholic beverages with a certain composition and ratio of volatile components have been scientifically substantiated.*

Keywords: *softened water, water treatment methods, mineral composition, distillates from vegetable materials, volatile components, alcoholic beverages, cation concentration, organoleptic properties, tasting assessment, requirements for softened water.*

For citation: Dubinina, E. V., Sevostyanova, E. M., Krikunova, L. N., & Obodeeva, O. N. (2021). Influence of mineral composition of softwater water for qualitative indicators of alcoholic drinks from vegetable raw materials. *Polzunovskiy vestnik*, 1, 11-19. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.002.

Основными ингредиентами купажа дистиллированных спиртных напитков являются дистилляты из различных видов растительного сырья (зерновые, солодовые, фруктовые и т. д.) и умягченная (специально подготовленная) вода (до 40–45 %). В настоящее время вода, используемая в составе купажей спиртных напитков, оценивается только с позиции общей жесткости, что не позволяет прогнозировать интенсивность и направление физико-химических процессов при ее смешивании с дистиллятом, а также потребитель-

ские свойства готового продукта, включая его органолептические характеристики и стойкость [1, 2].

Известно, что для воды, используемой для мойки и ополаскивания бутылок, присутствие солей жесткости нежелательно. При использовании жесткой воды после высыхания на бутылках обычно остаются разводы, ухудшающие товарный вид продукции [3].

Исходная вода, поступающая на предприятие из центральной системы водоснабжения либо из собственной артезианской

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА УМЯГЧЕННОЙ ВОДЫ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СПИРТНЫХ НАПИТКОВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

скважины, чаще всего имеет жесткость свыше 1,0 °Ж, и должна быть подвергнута умягчению одним из принятых в настоящее время способов. Наиболее распространенным способом умягчения воды является ионный обмен (катионирование), т. е. обработка воды при помощи ионообменных смол, загруженных в специальные реакторы (колонны) [4, 5]. Ионный обмен основан на замещении в воде ионов Ca²⁺, Mg²⁺, содержащихся в солях жесткости, на ионы Na⁺ и K⁺. Для этого способа характерны определенные преимущества, заключающиеся, в первую очередь, в простоте эксплуатации и обслуживания. Основным недостатком ионообменного умягчения воды является необходимость частой регенерации смол с использованием концентрированных сильных неорганических кислот или насыщенного раствора хлорида натрия (поваренной соли) и ограниченный срок службы.

В качестве альтернативного способа водоподготовки часто применяют более современные установки обратноосмотической очистки [5, 6, 7]. Обратный осмос представляет собой самый тонкий уровень фильтрации. Мембраны, входящие в состав обратноосмотической установки, служат барьером для всех растворенных солей, а также для веществ с молекулярным весом более 100 ед. Молекулы воды, наоборот, свободно проходят через мембрану, благодаря чему на выходе создается поток очищенной воды. Удаление растворенных солей составляет 95,0–99,9 %. Рабочее давление в обратноосмотической установке обычно варьируется от 5 бар (для солоноватой воды) и до 84 бар (для морской воды). Имея несомненные преимущества перед умягчением воды ионообменным способом, этот способ характеризуется практически полным удалением всех минеральных солей из воды. В тоже время известно, что для получения спиртных напитков с высокими органолептическими характеристиками полное удаление солей из воды нежелательно [8, 9].

На практике при выборе способов водоподготовки для конкретного вида спиртного напитка технолог основывается только на достижении необходимой строго контролируемой жесткости. При этом не учитывается минеральный состав умягченной воды и соотношение отдельных компонентов в ней, которые, как показано в работах [10, 11], влияют на качество готового напитка. Поэтому часто производители добавляют в умягченную обратным осмосом воду часть отфильтрованной исходной или минеральной воды,

регулируя вкусовые качества конечного продукта эмпирически на основе только органолептического анализа. Научное обоснование данного технологического приема отсутствует.

Настоящая работа посвящена разработке научного подхода к требованиям по минеральному составу умягченной воды для обеспечения гармонизации вкусоароматических характеристик спиртных напитков на основе дистиллятов из растительного сырья с различным содержанием летучих компонентов.

Объекты и методы исследований

В качестве объектов исследования в работе были использованы: 10 образцов умягченной воды, полученной на российских предприятиях, осуществляющих производство дистиллированных спиртных напитков (бренди, фруктовых водок, виски); зерновые дистилляты из различных видов сырья (ячменного солода и смеси ржи и ячменного солода в соотношении 70 % : 30 %); опытные купажи спиртных напитков.

Опытные образцы зерновых дистиллятов были получены на установке однократной прямой сгонки «Kothe Destillationstechnik» (Германия) с рабочим объемом куба 15 дм³. Всего было получено 20 образцов дистиллятов. Они были разделены на 4 группы, которые существенно различались по качественному составу и количественному содержанию основных летучих компонентов и по их органолептическим характеристикам.

Работа проводилась в отделе технологии крепких напитков и лаборатории минеральных вод ВНИИПБиВП (Россия, г. Москва). Качественные показатели образцов воды оценивали по органолептическим (цвет, запах, вкус) и физико-химическим показателям (общая жесткость, минеральный состав, содержание анионов, катионов и токсичных соединений). Органолептическая оценка качества умягченной воды осуществлялась по 19-балльной системе для негазированной продукции, разработанной специалистами ВНИИПБиВП и утвержденной в установленном порядке. Данная система используется при органолептической оценке безалкогольных напитков, включая минеральные и питьевые воды, на профессиональных дегустациях, в т. ч. на Международных конкурсах. Дегустацию проводили закрытым методом.

Общую жесткость воды определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 31954-2012 «Вода питьевая. Методы определения жесткости» [12].

Массовую концентрацию катионов и анионов определяли методом ионообменной хроматографии с использованием хромато-

графа ионного «Metrohm Advanced-Compact IC-853» (Швейцария) [13].

Состав микроэлементов анализировали на атомно-абсорбционном спектрофотометре AAS-3 («Карл Цейс Йена», Германия) по ранее разработанной методике [14].

Качественный и количественный состав летучих компонентов в дистиллятах определяли методом газовой хроматографии на приборе Thermo Trace GC Ultra (Thermo, USA) с пламенно-ионизационным детектором по действующей методике [15].

Органолептический анализ купажей спиртных напитков осуществляли в соответствии с требованиями ГОСТ 32051-2013 [16] по 10-балльной системе. Для проведения органолептического анализа была создана группа квалифицированных экспертов, состоящая из 9 человек. Результаты дегустации

обсчитывали путем определения медианной оценки.

За результат измерения физико-химических показателей принимал среднее значение не менее 3-х измерений. Обработка экспериментальных данных осуществлялась с использованием методов математической статистики и программного обеспечения Excel 2010 Microsoft Office.

Результаты и их обсуждение

При исследовании образцов исходной воды было установлено, что в зависимости от региона, в котором расположено предприятие и способа умягчения, они сильно различались по качественным показателям, в т. ч. по общей жесткости и минеральному составу. Жесткость воды во всех образцах соответствовала нормативным требованиям (таблица 1).

Таблица 1 – Физико-химические показатели образцов умягченной воды

Table 1 – Physical and chemical indicators of softened water samples

Показатели состава воды	Способ обработки / Номер образца									
	Ионный обмен						Обратный осмос			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Жесткость, °Ж	0,34	0,4	0,70	0,33	0,24	0,25	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
pH	7,1	7,4	7,0	7,8	7,2	6,5	6,8	6,5	6,7	6,8
Окисляемость перманганатная, мг O ₂ /дм ³	1,2	0,5	< 0,25	1,5	0,8	0,5	< 0,25	< 0,25	< 0,25	0,25
Щелочность, мг-экв/дм ³	4,2	1,3	0,72	5,1	2,4	0,34	0,34	0,16	0,24	0,18
Массовая концентрация катионов и анионов, мг/дм ³ :										
Кальций (Ca ²⁺)	6,9	7,3	8,9	3,5	2,8	3,8	1,6	1,6	< 0,5	< 0,5
Магний (Mg ²⁺)	< 0,5	< 0,5	3,2	1,8	1,2	0,7	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Натрий (Na ⁺)	255,1	56,2	71,6	168	101,2	5,6	7,2	2,8	8,2	4,2
Хлориды	22,6	7,6	14,6	87	56,8	1,2	0,8	1,1	2,8	< 0,5
Сульфаты	310,1	62,0	130,6	22,9	36,2	5,5	1,3	< 0,5	0,7	< 0,5
Гидрокарбонаты	258,6	79,3	43,8	310	145	20,8	20,7	9,8	14,6	11,0

Установлено, что минеральный состав умягченной воды зависит от способа умягчения. Так, образцы воды, подготовленной с использованием ионного обмена, кроме образца 6, в основном характеризовались повышенным значением активной кислотности (pH), что обусловлено высоким содержанием в них анионов, преимущественно сульфатов и гидрокарбонатов. Способ умягчения с использованием обратного осмоса характеризовался величиной pH менее 7,0 и стабильно низкими значениями концентрации всех микроэлементов, в т. ч. анионов, вне зависимости от производителя.

Образцы воды, полученной с помощью ионного обмена, содержали существенно более высокие концентрации минеральных веществ, и их значения варьировались в широ-

ких пределах. Концентрация кальция во всех образцах умягченной воды находилась в пределах рекомендованных значений, обеспечивающих стабильность спиртных напитков при хранении [17]. Однако при обработке ионообменным способом этот показатель в 4–6 раз превышал значения в образцах, полученных с использованием обратного осмоса.

Содержание натрия варьировалось в широком диапазоне. Установлено, что в образце 1 концентрация натрия превышала гигиенический норматив для питьевой воды в 1,3 раза. Этот образец отличался также повышенным содержанием сульфатов, которые могут создавать горечь во вкусе спиртного напитка, приготовленного на основе спиртаректификата, а также провоцируют образование осадков [2]. Среди исследованных образ-

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА УМЯГЧЕННОЙ ВОДЫ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СПИРТНЫХ НАПИТКОВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

цов умягченной воды с использованием ионного обмена избыточная концентрация сульфатов отмечена также в образце 3.

Присутствие высокой концентрации гидрокарбонатов в образцах 1 и 4 (свыше 240 мг/дм³) может отрицательно сказаться на органолептической оценке спиртного напитка. Имеются сведения о наличии горечи и грубых оттенков во вкусе спиртных напитков на основе спирта-ректификата при использовании воды с повышенной концентрацией гидрокарбонатов [8].

В отличие от спирта-ректификата дистилляты имеют разнообразный качественный состав и содержат высокие концентрации летучих примесей, придающих им характерные аромат и вкус [18]. Это дает основания предположить, что при смешивании умягченной воды с дистиллятом возможность взаимодействия компонентов смеси (купажа) и, следовательно, требуется проведение дополнительных исследований по определению оптимальных концентраций минеральных солей, преимущественно хлоридов, сульфатов

и гидрокарбонатов для дистиллятов с различным составом летучих компонентов.

По органолептическим показателям образцы воды, подготовленные способом обратного осмоса, практически не отличались друг от друга. По вкусу все образцы из этой группы были нейтральными и мягкими. Образцы воды, подготовленной способом ионного обмена, напротив, сильно различались по органолептическим характеристикам.

На основании результатов физико-химического и органолептического анализа для приготовления опытных купажей спиртных напитков были выбраны 3 образца воды (образцы 2, 5, 6), подготовленной способом ионного обмена. В качестве контроля использовали дистиллированную воду.

Дистилляты, использованные для приготовления опытных образцов спиртных напитков, были разделены в соответствии с общим содержанием летучих компонентов на 4 группы. Результаты анализа состава летучих компонентов дистиллятов, полученных из ячменного солода или смеси ржи и ячменного солода, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Состав летучих компонентов различных групп зерновых дистиллятов

Table 2 – Composition of volatile components of various groups of grain distillates

Наименование летучего компонента	Массовая концентрация, мг/дм ³ б.с.			
	I группа	II группа	III группа	IV группа
Ацетальдегид	85–267	8–256	23–70	52–302
Изобутеральдегид	1–8	0–3	1–10	1–2
Ацетон	1–2	0–1	0–1	1–2
Метанол	27–52	32–56	34–67	43–105
1-пропанол	222–419	408–468	463–622	495–752
Изобутанол	804–892	929–1082	1039–1263	1134–1251
1-бутанол	4–20	6–16	6–10	9–14
Изоамилол	1569–2028	2249–2313	2566–2721	2583–3210
2-пропанол	1–8	0–4	1–3	1–5
Гексанол	1–13	3–7	2–3	4–9
Этилацетат	68–98	6–119	38–101	95–148
Изоамилацетат	25–31	0–24	0–60	17–48
Этиллактат	0–6	1–2	0–2	0–4
Этилкапроат	0–4	0–3	5–6	7–15
Этилкаприлат	10–18	11–20	9–14	12–16
Этилкапрат	11–24	18–32	17–26	20–25
Фенилэтиловый спирт	6–8	23–25	10–32	21–26
Общее содержание	3154–3493	3979–4149	4477–4753	5180–5250

Установлено, что основными летучими компонентами зерновых дистиллятов являются высшие спирты, относительное содержание которых намного больше, чем в дистиллятах и спиртных напитках из фруктового сырья. Было отмечено значительное варьирование массовой концентрации отдельных сложных эфиров и карбонильных соединений

внутри выделенных групп дистиллятов, что связано с особенностями биохимического состава использованного сырья. Солодовые дистилляты по сравнению с дистиллятами из смеси ржи и солода содержали более высокие концентрации сложных эфиров и карбонильных соединений.

С использованием методов математической статистики ранее были определены группы летучих компонентов, оказывающих положительное или отрицательное влияние на дегустационную оценку дистиллятов [19]. Для испытанных дистиллятов выявлена высокая положительная корреляционная зависимость дегустационной оценки от соотноше-

ния спиртов C5 и суммы спиртов C3, C4 ($r_{xy} = 0,641$, при $p = 0,05$).

На рисунке 1 представлено распределение основных летучих компонентов зерновых дистиллятов в соответствии с их массовой долей в суммарном содержании и значимостью при органолептической оценке.

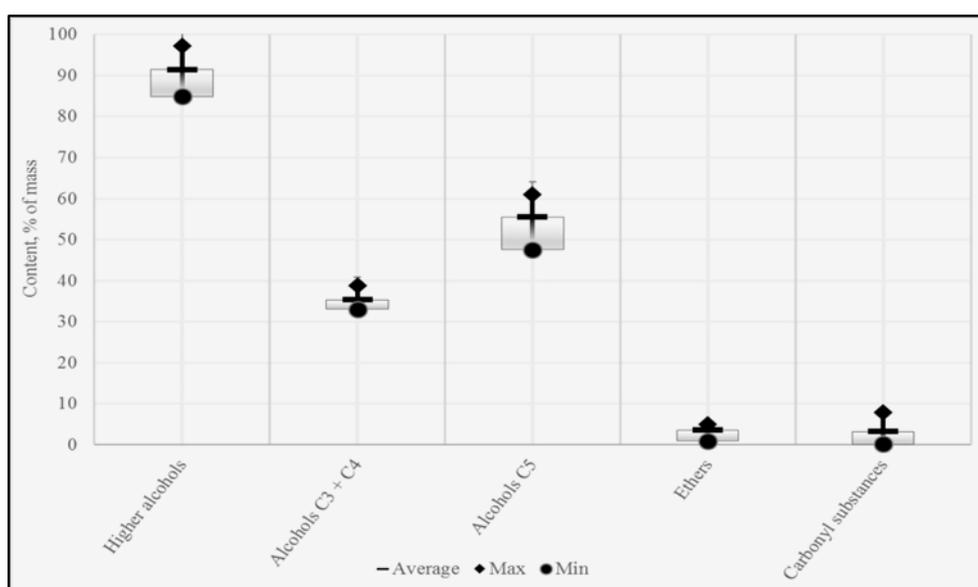


Рисунок 1 – Оценка значимости летучих компонентов в зерновых дистиллятах

Figure 1 – Assessment of the significance of volatile components in grain distillates

Представленные данные позволяют четко определить высшие спирты как наиболее значимые летучие соединения в составе зерновых дистиллятов. Их доля в сумме летучих соединений в среднем составляет 91,5 %. Сумма карбонильных соединений в составе всех групп зерновых дистиллятов не превышала 8 % и, следовательно, они не могут оказывать негативного влияния на их органолептические свойства.

В процессе приготовления спиртного напитка массовая концентрация всех летучих компонентов обычно снижается более, чем в 2 раза. При этом концентрация карбонильных соединений уменьшается до значений ниже порога восприятия. Доля сложных эфиров в зерновых дистиллятах также незначительна и составляет в среднем 3,6 %. Концентрации отдельных эфиров не превышали их пороговых значения по аромату.

Таким образом, для определения оптимального солевого состава подготовленной воды, используемой в купаже спиртного напитка, основными критериями были выбраны массовая концентрация высших спиртов и величина соотношения спиртов C5 и суммы спиртов C3, C4. Из каждой группы дистилля-

тов был приготовлен один типичный образец путем эгализации и затем составлены купажи спиртных напитков крепостью 40 % об. с использованием умягченной воды с различным солевым составом (образцы: 1(2), 1(5), 1(6); 2(2), 2(5), 2(6); 3(2), 3(5), 3(6); 4(2), 4(5), 4(6). Во всех образцах умягченной воды концентрации ионов кальция и магния, влияющих на образование солей жесткости, находились на нижнем пределе обнаружения, по этой причине они не могли спровоцировать образование осадков в напитках.

Применение умягченной воды с различным солевым составом в купажах спиртных напитков по-разному отразилось на их органолептических характеристиках в зависимости от массовой концентрации высших спиртов и их соотношения. Результаты органолептической оценки спиртных напитков представлены в таблице 3.

Установлено, что на дегустационные показатели напитков наибольшее влияние оказывает концентрация ионов натрия и гидрокарбонатов в умягченной воде.

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА УМЯГЧЕННОЙ ВОДЫ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СПИРТНЫХ НАПИТКОВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Таблица 3 – Влияние солевого состава умягченной воды на органолептическую оценку спиртных напитков

Table 3 – Influence of the salt composition of softened water on the organoleptic assessment of alcoholic beverages

Наименование образца	Массовая концентрация высших спиртов, мг/дм ³ б.с.	Соотношение спиртов C ₅ / (C ₃ + C ₄)	Дегустационная оценка, балл
1 (Контроль)	2980 ± 31	1,52 – 1,54	8,5
1(2)	2980 ± 31	1,52 – 1,54	8,7
1(5)	2980 ± 31	1,52 – 1,54	8,6
1(6)	2980 ± 31	1,52 – 1,54	8,9
2 (Контроль)	3743 ± 44	1,56 – 1,57	8,3
2(2)	3743 ± 44	1,56 – 1,57	8,7
2(5)	3743 ± 44	1,56 – 1,57	8,6
2(6)	3743 ± 44	1,56 – 1,57	8,6
3 (Контроль)	4350 ± 52	1,54 – 1,55	8,4
3(2)	4350 ± 52	1,54 – 1,55	8,5
3(5)	4350 ± 52	1,54 – 1,55	8,8
3(6)	4350 ± 52	1,54 – 1,55	8,7
4 (Контроль)	4735 ± 71	1,57 – 1,59	8,2
4(2)	4735 ± 71	1,57 – 1,59	8,3
4(5)	4735 ± 71	1,57 – 1,59	8,8
4(6)	4735 ± 71	1,57 – 1,59	8,6

Так, при купажировании дистиллятов первой группы, имеющих минимальную концентрацию высших спиртов и минимальное значение их соотношения наиболее высокую дегустационную оценку получил купаж, приготовленный с использованием воды образца 6. Данный купаж характеризовался чистым, сложным ароматом с тонами исходного сырья с фруктовыми оттенками и мягким гармоничным вкусом. При использовании в составе купажа воды с высоким содержанием ионов натрия и гидрокарбонатов (образец 5) аромат характеризовался менее выраженными оттенками исходного сырья, а во вкусе напитка ощущалась несвойственная горечь.

Напротив, как видно из представленных данных, при купажировании дистиллятов с более высокой концентрацией высших спиртов и повышенным значением величины их соотношения (образцы 3(5), 4(5)) большое содержание гидрокарбонатов и ионов натрия оказывает положительное влияние на органолептическую оценку спиртного напитка.

Результаты органолептической оценки, вошедшие в массив данных, позволили выработать рекомендации к минеральному составу умягченной воды в зависимости от массовой концентрации (МК) высших спиртов и значения соотношения спиртов C₅ и суммы спиртов C₃, C₄ в зерновых дистиллятах (таблица 4).

Таблица 4 – Рекомендуемые показатели минерального состава умягченной воды в зависимости от состава летучих компонентов дистиллятов

Table 4 – Recommended indicators of the mineral composition of softened water depending on the composition of volatile components of distillates

МК высших спиртов, мг/дм ³ б.с.	Соотношение спиртов C ₅ / (C ₃ + C ₄)	Массовая концентрация катионов и анионов, мг/дм ³					
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Хлориды	Сульфаты	Гидрокарбонаты
2600 – 3400	1,52 – 1,54	≤ 4,0	< 1,0	< 6,0	< 1,5	≤ 5,5	≤ 25,0
3400 – 4000	1,56 – 1,57	≤ 7,5	< 0,5	< 60,0	< 8,0	< 65,0	< 80,0
4000 – 4650	1,54 – 1,55	≤ 3,0	< 1,5	< 105,0	≤ 60,0	< 40,0	≤ 145,0
4200 – 5250	1,57 – 1,59	≤ 3,0	< 1,5	< 105,0	≤ 60,0	< 40,0	≤ 145,0

Установлено, что при использовании дистиллятов с более высокой концентрацией высших спиртов, для получения спиртных напитков стабильно высокого качества, в составе умягченной воды необходимо повышать концентрацию катионов Na^+ , а также концентрацию анионов (хлоридов, сульфатов и гидрокарбонатов). Концентрацию катионов Ca^{2+} в подготовленной воде рекомендуется регулировать на уровне не более 3,0–7,5 мг/дм³, в зависимости от величины соотношения спиртов С5 и суммы спиртов С3, С4. Массовая концентрация ионов Mg^{2+} в воде при производстве спиртных напитков из зерновых дистиллятов не должна превышать 1,5 мг/дм³.

В целом, результаты проведенных исследований позволили научно обосновать требования к минеральному составу умягченной воды для спиртных напитков, изготавливаемых из дистиллятов с различным содержанием и соотношением основных летучих компонентов. Разработанные рекомендации по минеральному составу умягченной воды позволяют без дополнительных затрат значительно повысить качество спиртных напитков на основе дистиллятов из растительного сырья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оганесянц Л.А., Линецкая А.Е., Данилян А.В. Проблема стабилизации коньяков // Виноделие и виноградарство. – 2005. – № 1. – С. 24–25.
2. Бурачевский И.И., Морозова С.С., Ющенко Г.И., Бурачевская В.Ю., Устинова Е.В. Возможные причины образования осадков в водках и рекомендации по их устранению // Ликероводочное производство и виноделие. – 2009. – № 9. – С. 14–16.
3. Борисов Б.А., Егорова Е.Ю., Зайнуллин Р.А. Водоподготовка в производстве пищевых продуктов и напитков. – СПб. : Профессия, 2015. – 398 с.
4. Поляков В.А., Абрамова И.М., Морозова С.С., Медриш М.Э., Устинова Е.В. Исправленная вода для приготовления высокосортных водок // Производство спирта и ликероводочных изделий. – 2015. – №1. – С. 20–22.
5. Рябчиков Б.Е. Современная водоподготовка. – М. : ДеЛи плюс, 2013. – 679 с.
6. Даудова Т.Н., Ахмедов М.Э., Демирова А.Ф., Даудова Л.А. Новый способ водоподготовки для производства алкогольных напитков // Пиво и напитки. – 2014. – № 4. – С. 12–13.
7. Йенс Липницки, Жюльен Ожье, Штефан Леманн Опыт применения обратного осмоса в качестве четвертой стадии очистки // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2018. – Вып. 8, №128. – С. 30–35.

8. Абрамова И.М., Поляков В.А., Медриш М.И., Павленко С.В. Значение ионного состава водок в контроле алкогольной продукции // Производство спирта и ликероводочных изделий. – 2013. – № 2. – С. 20–21.

9. Севостьянова Е.М., Осипова В.П., Хорошева Е.В., Ремнева Г.А. Влияние технологической воды на органолептические характеристики крепких напитков // Пиво и напитки. – 2017. – № 3. – С. 40–43.

10. Ермолаева Г.А. Влияние солевого состава воды на качество водки // Производство ликероводочных изделий. – 2002. – № 1. – С. 21.

11. Данилян А.В. Совершенствование технологии стабилизации коньяков с использованием высокоэффективных полимерных материалов. – Автореф. дис. ... кандидата техн. наук. – Москва. – 2006. – 25 с.

12. ГОСТ 31954-2012 Вода питьевая. Методика определения жесткости. – Москва, Россия, 2012.

13. ГОСТ 31867-2012 Вода питьевая. Определение содержания анионов методом хроматографии и капиллярного электрофореза. – Москва, Россия, 2012.

14. ГОСТ Р 57162-2016 Вода. Определение содержания элементов методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией. – Москва, Россия, 2016.

15. ГОСТ 33834-2016 Продукция винодельческая и сырье для ее производства. Газохроматографический метод определения массовой концентрации летучих компонентов. – Москва, Россия, 2016.

16. ГОСТ 32051-2013 Продукция винодельческая. Методы органолептического анализа. – Москва, Россия, 2013.

17. Славская М.Л., Ильина Е.В., Макаров С.Ю. Требования к качеству воды для приготовления водок // Производство спирта и ликероводочных изделий. – 2009. – №3. – С. 15–17.

18. Крикунова Л.Н., Дубинина Е.В. К вопросу оценки качества дистиллятов из крахмалсодержащего сырья // Ползуновский вестник. – 2018. – № 4. – С. 45–49.

19. Wechgama K., Laopaiboon L., Laopaiboon P. Quantitative Analysis of Main Volatile and Other Compounds in Traditional Distilled Spirits from Thai Rice // Biotechnology. – 2008. – № 7. – P. 718–724.

Информация об авторах

Е. В. Дубинина – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова.

Е. М. Севостьянова – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова.

Л. Н. Крикунова – доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 1 2021

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА УМЯГЧЕННОЙ ВОДЫ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СПИРТНЫХ НАПИТКОВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

ник Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова.

О. Н. Ободеева – младший научный сотрудник Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова.

REFERENCES

1. Oganesyants, L.A., Linetskaya, A.E. & Danilyan, A.V. (2005). The problem of stabilization of cognacs. *Winemaking and viticulture*, (1), 24–25. (In Russ.).
2. Burachevsky, I.I., Morozova, S.S., Yushchenko, G.I., Burachevskaya, V.Yu. & Ustinova E.V. (2009). Possible causes of precipitation in vodkas and recommendations for their elimination. *Distillery production and winemaking*, (9), 14–16. (In Russ.).
3. Borisov, B.A., Egorova, E.Yu. & Zainullin, R.A. (2015). *Water treatment in the food and beverage industry*. Saint-Petersburg: Professiya. (In Russ.).
4. Polyakov, V.A., Abramova, I.M., Morozova, S.S., Medrish, M.E. & Ustinova, E.V. (2015). Reclaimed water for the preparation of high-grade vodkas. *Production of alcohol and alcoholic beverages*, (1), 20–22. (In Russ.).
5. Ryabchikov, B.E. *Modern water treatment*. Moscow: DeLi plus. (In Russ.).
6. Daudova, T.N., Akhmedov, M.E., Demirova, A.F. & Daudova, L.A. (2014). A new method of water treatment for the production of alcoholic beverages. *Beer and drinks*, (4), 12–13. (In Russ.).
7. Lipnitsky, J., Ogier, J. & Lehmann, S. (2018). Experience of using reverse osmosis as the fourth stage of purification. *Water purification. Water treatment. Water supply*, 8 (128), 30–35.
8. Abramova, I.M., Polyakov, V.A., Medrish, M.I. & Pavlenko, S.V. (2013). The value of the ionic composition of vodkas in the control of alcoholic products. *Production of alcohol and alcoholic beverages*, (2), 20–21. (In Russ.).
9. Sevostyanova, E.M., Osipova, V.P., Horosheva, E.V. & Remneva, G.A. Influence of technological water on the organoleptic characteristics of strong drinks. *Beer and drinks*. (3), 40–43. (In Russ.).
10. Ermolaeva, G.A. Influence of the salt composition of water on the quality of vodka. *Production of liqueur and dairy products*, (1), 21–22. (In Russ.).
11. Danilyan, A.V. (2006). Improvement of the technology of stabilization of cognacs using high-performance polymer materials. *Extended abstract of candidate's thesis*. Moscow. (In Russ.).
12. Drinking water. Stiffness determination method. (2014). *HOST 31954-2012 from 1 January*

2014. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).

13. Drinking water. Determination of the content of anions by chromatography and capillary electrophoresis. (2014). *HOST 31867-2012 from 1 January 2014*. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).

14. Water. Determination of the content of elements by atomic absorption spectrometry with electrothermal atomization. (2018). *HOST R 57162-2016 from 11 January 2018*. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).

15. Wine products and raw materials for its production. Gas chromatographic method for determining the mass concentration of volatile components. (2018). *HOST 33834-2016 from 1 January 2018*. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).

16. Wine products Methods of organoleptic analysis. (2014). *HOST 32051-2013 from 1 July 2014*. Moscow: Standards Publishing House (In Russ.).

17. Slavskaya, M.L., Ilyina, E.V. & Makarov, S.Yu. (2009). Requirements for the quality of water for the preparation of vodkas. *Production of alcohol and alcoholic beverages*, (3), 15–17. (In Russ.).

18. Krikunova, L.N. & Dubinina, E.V. (2018). On the issue of assessing the quality of distillates from starch-containing raw materials. *Polzunovskiy Vestnik*, (4), 45–49. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2018.04.009.

19. Wechgama, K., Laopaiboon, L. & Laopaiboon, P. Quantitative Analysis of Main Volatile and Other Compounds in Traditional Distilled Spirits from Thai Rice. *Biotechnology*, (7), 718–724. (In Russ.).

Information about the authors

E. V. Dubinina – Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher of the Federal Scientific Center for Food Systems V.M. Gorbato.

E. M. Sevostyanova – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher at the Federal Scientific Center for Food Systems V.M. Gorbato.

L. N. Krikunova – Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading Researcher at the Federal Scientific Center for Food Systems V.M. Gorbato.

O. N. Obodeeva – Junior Researcher at the Federal Scientific Center for Food Systems V.M. Gorbato.

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

Статья поступила в редакцию 15.01.2021; одобрена после рецензирования 22.02.2021; принята к публикации 01.03.2021.

The article was received by the editorial board on 15 Jan 21; approved after reviewing on 22 Feb 21; accepted for publication on 01 Mar 21.

Научная статья

05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства (технические науки)

УДК 664.858.8

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.003

МЕДОВЫЙ МАРМЕЛАД С ЯДРОМ КЕДРОВЫХ ОРЕХОВ

Александра Сергеевна Захарова ¹, Елена Юрьевна Егорова ²

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

¹ zakharovatpz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0962-4912>

² egorovaeyu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4990-943X>

Аннотация. Мармелад – один из наиболее любимых у потребителей видов кондитерских изделий, имеющих при этом ряд недостатков в характеристике пищевой ценности. Целью экспериментальных исследований стала оценка возможности повышения пищевой ценности формового жележного мармелада путем введения в состав мармеладной массы ядра кедровых орехов и частичной или полной замены сахара-песка на пчелиный мёд. Установлено, что использование мёда оказывает существенное влияние на органолептические показатели мармелада, сопровождаясь появлением характерных медовых привкуса и запаха, но вызывая потемнение и снижение пластической прочности. Повышение влажности и титруемой кислотности является закономерным, но несущественным. Внесение в мармелад ядра кедровых орехов не влияет на значение кислотности, массовую долю влаги и нерастворимой золы. Рекомендованная дегустационной комиссией дозировка пчелиного меда при производстве жележного формового мармелада составляет 60 % от стандартной рецептурной дозировки сахара, ядра кедровых орехов – 9 % к массе сахара. Согласно расчетным данным пищевой ценности, по сравнению с традиционной продукцией мармелад с ядром кедровых орехов и медом имеет повышенное содержание белка, жира, пищевых волокон, минеральных элементов и витаминов группы В.

Ключевые слова: кондитерские изделия, мармелад, разработка технологии, плодово-ягодное сырьё, кедровые орехи, пчелиный мёд, пищевая ценность, оценка качества.

Для цитирования: Захарова А. С., Егорова Е. Ю. Медовый мармелад с ядром кедровых орехов // Ползуновский вестник. 2021. № 1. С. 20–26. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.003.

Original article

HONEY MARMALADE WITH PINE NUT KERNELS

Alexandra S. Zakharova ¹, Elena Y. Egorova ²

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

¹ zakharovatpz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0962-4912>

² egorovaeyu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4990-943X>

Abstract. Marmalade is one of the most favorite types of confectionery products among consumers, but it has a number of disadvantages in the characteristics of its nutritional value. The purpose of the experimental studies was to assess the possibility of increasing the nutritional value of jelly shaped marmalade by introducing pine nut kernels into the marmalade mass and the possibility of partially or completely replacing granulated sugar with honey. It has been established that the use of honey has a significant effect on the organoleptic characteristics of marmalade, giving the product a specific honey

© Захарова А.С., Егорова Е.Ю., 2021

taste and smell, but causing darkening and a decrease in plastic strength. An increase in humidity and titratable acidity is expectable, but insignificant. The introduction of pine nut kernels into marmalade does not affect the acidity, the mass fraction of moisture and insoluble ash. The dosage of honey recommended by the tasting committee for the production of jelly shaped marmalade is 60 % of the standard prescription dosage of sugar and the dosage of pine nut kernels is 9 % to the weight of sugar. According to the calculated nutritional value data, compared to traditional products, marmalade with pine nuts and honey has an increased content of protein, fat, dietary fiber, mineral elements and B-group vitamins.

Keywords: *confectionery, marmalade, technology development, fruit and berry raw materials, pine nuts, bee honey, nutritional value, quality assessment.*

For citation: Zakharova, A. S. & Egorova, E. Y. (2021). Honey marmalade with pine nut kernels. *Polzunovskiy vestnik*, 1, 20–26. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.003.

Мармелад – один из любимых видов кондитерских изделий, традиционно пользующийся повышенным потребительским спросом. Это является одной из ведущих причин не прекращающегося развития прикладных исследований в области совершенствования рецептур и технологий получения мармелада. Так, пищевая ценность мармеладных масс, как и ряда других кондитерских изделий, может быть существенно повышена включением в рецептуру различного плодово-ягодного, пряно-ароматического и даже овощного сырья. Причем с этой целью могут быть использованы пюре, пасты, жомы и мезга сочного растительного сырья, концентрированные сиропы, соки или экстракты [1].

Современные разработки новых рецептур мармелада ведутся в нескольких направлениях:

- обогащения состава мармелада пищевыми волокнами и эссенциальными микронутриентами, входящими в состав продуктов переработки растительного и животного сырья – полифенолами, водорастворимыми витаминами, минеральными веществами, эфирными маслами и другими [2–5];

- замены либо снижения доли сахарозы в составе мармеладных масс [6–8];

- повышения доли пищевых компонентов, нетрадиционных для мармелада – белков, липидов [9–12].

С позиций повышения пищевой ценности мармелада, каждое из рассматриваемых направлений исследований дает определённые преимущества, но каждая модификация традиционных промышленных рецептур мармелада влечет за собой необходимость детального анализа последующих изменений всех потребительских свойств нового продукта.

Потребление мармелада на сахаре провоцирует повышение кислотообразующей способности бактерий зубного налета [8].

В этой связи определенные перспективы приобретает оценка технологической возможности использования в производстве мармелада природных подслащающих компонентов, в частности – пчелиного мёда.

Потенциал пчелиного мёда и других пчелопродуктов для повышения пищевой ценности продуктов питания традиционно связывают с наличием целого спектра биологически активных компонентов: витаминов, полифенолов, ферментов, макро- и микроэлементов. Вместе с тем, перечень сочетаемых с мёдом компонентами ограничивается их биохимическими свойствами (влажностью, кислотностью, жирностью), органолептикой и сроком годности получаемого продукта [13].

В производстве мармелада мёд также находит применение [14], однако только замена сахара не позволяет значительно повлиять на соотношение основных пищевых нутриентов в продукте, что свидетельствует о целесообразности дополнительных модификаций рецептуры мармелада.

Целью работы являлась оценка возможности повышения пищевой ценности формового жележного мармелада путем введения в состав мармеладной массы ядра кедровых орехов и частичной замены сахара-песка на пчелиный мёд.

На первом этапе экспериментальных исследований было изучено влияние дозировки ядра кедровых орехов на качество жележного формового мармелада. Варка мармеладной массы осуществлялась по общепринятой технологии [15]. В конце уваривания в массу вносили ядро кедровых орехов в количестве 1 %, 3 %, 5 %, 7 %, 9 %, 11 % (к массе сахара). По окончании варки мармеладную массу подкисляли купажем лимонной кислоты с пищевым красителем. Готовую мармеладную массу разливали по формам и охлаждали.

Органолептические показатели качества полученного мармелада с ядром кедровых

орехов приведены в таблице 1. В качестве контрольного образца приготовлен мармелад без добавления орехов.

Для более полной характеристики органолептических показателей качества мармелада проведена его дегустационная оценка по балльной шкале. Больше всего дегустаторам понравился образец с добавлением 9 % ядра кедровых орехов к массе сахара. Именно этот образец мармелада набрал наибольшее количество баллов, хотя и остальные образцы соответствовали оценке «отлично» (рисунок 1).

Известно, что структурно-механические свойства и водоудерживающая способность кондитерских масс зависят от содержания в них пищевых волокон и некоторых других компонентов [16]. Так, пектины, клетчатка и белки используемого сырья благодаря гидрофильности и способности к дополнительному набуханию обеспечивают связывание влаги. Соответственно, чем более высокое содержание пищевых волокон и белков будет иметь мармелад, тем медленнее в нем должны будут

протекать процессы усушки, обусловленные десорбцией влаги.

Установлено, что добавление кедровых орехов в пределах от 1 % до 11 % (к массе сахара) не оказывает влияние на кислотность и массовую долю нерастворимой золы, так как при определении данных показателей качества все включения подлежат удалению из проб, а мармеладная масса – основа образцов – была одинаковой. По той же причине не зафиксировано и существенного изменения массовой доли влаги при внесении в мармеладную массу ядра кедровых орехов (рисунок 2), колебания значений находятся в пределах воспроизводимости методики). В ходе исследований принято решение, что дозировка ядра кедровых орехов 9 % к массе сахара является наиболее рациональной: именно этот образец получил максимальную оценку и имел физико-химические показатели качества, соответствующие требованиям ГОСТ 6442–2014 [17].

Таблица 1 – Органолептические показатели качества мармелада с ядром кедровых орехов

Table 1 – Organoleptic indicators of the quality of marmalade with pine nut kernels

Наименование показателя	Количество ядра кедровых орехов, % к массе сахара						
	0	1	3	5	7	9	11
Вкус, запах и цвет	Характерный для мармелада, без постороннего привкуса и запаха. В образцах с обогащающей добавкой ощущался привкус и легкий запах ядра кедровых орехов, пропорционально количеству вносимой добавки						
Консистенция	Студнеобразная. У образца с 11 % ядра кедровых орехов – более слабая						
Форма	Правильная, с четким контуром, без деформации						
Поверхность	Глянцеванная, без обсыпки						



Рисунок 1 – Фотографии мармелада с ядром кедровых орехов

Figure 1 – Photos of marmalade with pine nut kernels

МЕДОВЫЙ МАРМЕЛАД С ЯДРОМ КЕДРОВЫХ ОРЕХОВ

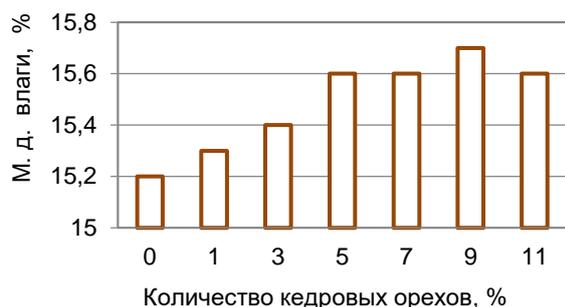


Рисунок 2 – Влияние ядра кедровых орехов на массовую долю влаги мармелада

Figure 2 – Influence of pine nut kernels on the mass fraction of moisture marmalade

Следующим этапом работы стало изучение возможности использования меда при производстве мармелада с ядром кедровых орехов. Для этого проводили замену 20 %, 60 %, 100 % сахара на пчелиный мед при производстве выбранной по результатам экспериментальных исследований рецептуры мармелада с ядром кедровых орехов. В качестве контрольного образца на данном этапе выступал мармелад с добавлением 9 % кедровых орехов без меда.

Результаты определения органолептических показателей качества мармелада с ядром кедровых орехов и меда приведены в таблице 2.

Следует отметить, что мед оказал существенное влияние на органолептические показатели качества формового желеобразного мармелада (рисунок 3). При увеличении закладки меда цвет мармелада становился более насы-

щенным, темным. Вероятно, потемнение мармеладной массы следует связывать с протекающей в ней реакцией меланоидинообразования. Мёд содержит белки и свободные аминокислоты, которые, вступая во взаимодействие с простыми сахарами, образуют темноокрашенные соединения, что и объясняет более насыщенный цвет полученной продукции.

Также при органолептической оценке мармелада установлено, что консистенция мармелада на меду была несколько слабее, чем консистенция контрольного образца. У образцов с медом отмечено наличие характерных медовых привкуса и запаха.

По результатам дегустационной оценки образцам с заменой на мёд 20 % и 60 % сахара присвоена отличная категория качества. Образец со 100 % заменой сахара на мед понравился дегустаторам меньше всего как по дегустационным характеристикам, так и вследствие утраты им характерной пластической прочности, что не позволяет рекомендовать такую рецептуру к реализации в промышленных условиях.

Результаты определения кислотности и массовой доли влаги мармелада с ядром кедровых орехов и медом представлены на рисунках 4 и 5. Некоторое увеличение титруемой кислотности мармелада можно объяснить внесением с мёдом входящих в его состав органических и фенолокислот (мед содержит в своем составе молочную, лимонную, яблочную, глюконовую, янтарную и другие кислоты), свободных amino- и жирных кислот. Повышение влажности мармелада при использовании мёда можно объяснить более высоким содержанием влаги в меду по сравнению с сахаром.

Таблица 2 – Органолептические показатели качества мармелада с ядром кедровых орехов и медом

Table 2 – Organoleptic indicators of the quality of marmalade with pine nuts and honey

Наименование показателя	Количество мёда, % замены сахара			
	0	20	60	100
Вкус, запах и цвет	Характерный для мармелада, без постороннего привкуса и запаха. С увеличением дозировки мёда в рецептуре цвет – более темный, насыщенный. В образцах с мёдом ощущается медовый привкус, более интенсивно при увеличении количества мёда			
Консистенция	Студнеобразная, с медом – более слабая			Очень слабая
Форма	Правильная, с четким контуром, без деформации			Неправильная, контур не четкий, с деформацией
Поверхность	Глянцеванная, без обсыпки			



Рисунок 3 – Фотографии мармелада с ядром кедровых орехов и медом

Figure 3 – Photos of marmalade with pine nuts and honey

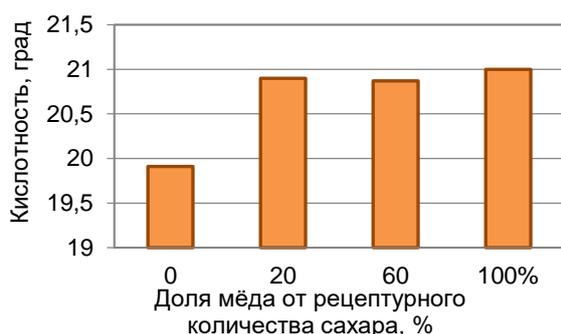


Рисунок 4 – Влияние мёда на кислотность мармелада с ядром кедровых орехов

Figure 4 - Influence of honey on acidity marmalade with pine nut kernels

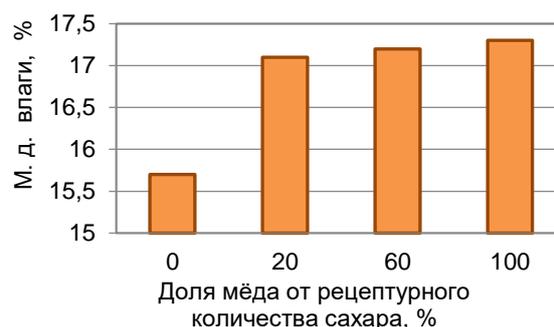


Рисунок 5 – Влияние мёда на массовую долю влаги мармелада с ядром кедровых орехов

Figure 5 - Influence of honey on the mass fraction of moisture in marmalade with pine nut kernels

Рекомендуемая по результатам всех проведенных исследований дозировка пчелиного мёда при производстве желейного, формового мармелада с кедровыми орехами составляет 60 % от стандартной рецептурной дозировки сахара.

Полученные в ходе экспериментов образцы мармелада обладали не только высокими потребительскими достоинствами, но и высокой пищевой ценностью, результаты расчета которой приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Пищевая ценность мармелада контрольной и экспериментальных рецептур

Table 3 – Nutritional value of marmalade of control and experimental formulations

Наименование компонента	Значение, в 100 г мармелада		
	контрольной рецептуры	с добавлением 9 % ядра орехов	
		без мёда	и 60 % мёда
1	2	3	4
Белки, г	0,05	2,22	2,62
Жиры, г	0,03	4,16	4,16
Углеводы, г	91,78	92,90	83,12
Пищевые волокна, г	0,98	1,26	1,26
Зола, г	0,14	0,34	0,44
Энергетическая ценность, ккал	350	397	365
Витамины, мг:			
В ₁	0	0,03	0,03
В ₂	0	0,02	0,03

МЕДОВЫЙ МАРМЕЛАД С ЯДРОМ КЕДРОВЫХ ОРЕХОВ

Продолжение таблицы 3 / Continuation of table 3

1	2	3	4
НЭ	0,0065	0,34	0,44
Минеральные вещества, мг:			
К	6,96	51,73	68,28
Са	5,65	6,85	12,37
Mg	1,55	20,37	21,88
Fe	0,40	0,82	1,07
P	5,37	48,49	57,52
Цинк	0,03	0,51	0,56

Как видно из представленных в таблице 3 данных, мармелад с кедровыми орехами и медом имеет повышенное содержание белка, жира, пищевых волокон и целого ряда витаминов и минеральных элементов. Так, использование кедровых орехов или их комбинации с медом способствует увеличению содержания белка в 100 г мармелада в 44–52 раза, жира – в 139 раз, пищевых волокон – в 1,2 раза. В составе мармелада появились витамины группы В, ниациновый эквивалент увеличился в 52–67 раз, содержание калия выросло в 7–10 раз, магния – 13–14 раз, железа в 2–3 раза, фосфора в 9–10 раз, цинка – в 17–19 раз. Закономерно повышается и энергетическая ценность мармелада.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверьянова, Е.В. Физиологически активные вещества растительного сырья / Е.В. Аверьянова, М.Н. Школьников, Е.Ю. Егорова. – Бийск : Изд-во АлтГТУ, 2010. – 105 с.
2. Румянцева, В.В. Пищевые свекловичные волокна марки BIO-FI PRO WR 200 при производстве железного мармелада / В.В. Румянцева, В.В. Коломыцева, С.И. Дмитренко // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2020. – № 1 (60). – С. 72–78.
3. Человекова, Е.С. Содержание биологически активных веществ в мармеладе на основе отвара листьев лекарственных растений / Е.С. Человекова, В.Л. Захаров // Агропромышленные технологии Центральной России. – 2018. – № 4 (10). – С. 8–15.
4. Резниченко, И.Ю. Потребительские свойства мармелада с гранатовым и свекольным соком / И.Ю. Резниченко, Т.В. Рензяева, Т.Ф. Киселева, А.М. Лебедик // Ползуновский вестник. – 2018. – № 1. – С. 13–16.
5. Раскина, С.И. Разработка рецептуры мармелада с экстрактом калины обыкновенной / С.И. Раскина, О.В. Нестерова, Н.В. Бирюкова, С.В. Кондрашев // Медицинское образование и ВУЗовская наука. – 2018. – № 3–4. – С. 118–120.

6. Харисова, Л.М. Разработка рецептуры мармелада с добавлением облепихового сока и заменой сахара на стевииозид // NovalInfo.Ru. – 2018. – Т. 1. – № 83. – С. 59–62.

7. Мельникова, Л.Э. Сравнительная оценка желеино-фруктовых мармеладов со стевииозидом для диетического питания с использованием различных желирующих агентов / Л.Э. Мельникова, Е.А. Горнич // Вестник АПК Верхневолжья. – 2019. – № 3. – С. 51–55.

8. Ибрагимов, М.М. Исследование влияния состава модельных смесей мармелада на кислотообразующую способность бактерий зубного налета / Ибрагимов М.М. // Вопросы питания. – 2018. – Т. 87. – № S5. – С. 275–276.

9. Крылова, Э.Н. Технология производства желеино мармелада, обогащенного белком / Э.Н. Крылова, Т.В. Савенкова, Н.Б. Кондратьев, Е.Н. Маврина // Пищевая промышленность. – 2018. – № 11. – С. 17–19.

10. Скобельская, З.Г. Хранение мармелада функционального назначения, содержащего льняное масло / З.Г. Скобельская, С.А. Бутин, И.А. Любенина // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2018. – № 1. – С. 16–19.

11. Арнатович, А.С. Технология производства желеино формового мармелада на основе молочной подсырной сыворотки / А.С. Арнатович, Т.В. Кабанова // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. – 2019. – № 21. – С. 203–206.

12. Хабибуллина, Р.Р. Использование солодовых экстрактов и кунжутной муки при производстве мармелада / Р.Р. Хабибуллина, Э.Д. Будакова // Студенческий. – 2019. – № 23–2. – С. 79–83.

13. Будаева, В.В. Мед с ядром и хлопьями кедрового ореха / В.В. Будаева, Е.Ю. Егорова, К.С. Барбошкин // Пищевая промышленность. – 2004. – № 12. – С. 96–97.

14. Магомедов, Г.О. Разработка рецептуры мармелада с использованием гречишного мёда / Г.О. Магомедов, М.Г. Магомедов, Л.А. Лобосова, Е.И. Петухова // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2019. – № 5–6. – С. 47–50.

15. Сборник основных рецептов сахаристых кондитерских изделий / сост. Н.С. Павлова. – СПб. : ГИОРД, 2000. – 232 с.

16. Казанцева, И.Л. Исследование форм связывания влаги в сырье и готовой кондитерской продукции методом термического анализа / И.Л. Казанцева // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2015. – № 7. – С. 36–40.

17. ГОСТ 6442–2014. Мармелад. Общие технические условия [Текст]. – Введ. 2016–01–01. – М.: Стандартинформ, 2015. – 7 с.

Информация об авторах

А. С. Захарова – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии хранения и переработки зерна Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

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

REFERENCES

1. Averyanova, E.V., Shkolnikova, M.N. & Egorova, E.Yu (2010). *Physiologically active sub-stances of vegetable raw materials*. Biysk: AltSTU Publishing House. (In Russ.).

2. Romyantseva, V.V., Kolomytsev, V.V. & Dmitrenko, S.I. (2020). Food beet fibers of the BIO-FI PRO WR 200 brand in the production of jelly marmalade. *Technology and commodity research of innovative food products*, 1 (60), 72–78. (In Russ.).

3. Chelovekova, E.S. & Zakharov, V.L. (2018). The content of biologically active substances in marmalade based on decoction of leaves of medicinal plants. *Agroindustrial technologies of Central Russia*, 4 (10), 8–15. (In Russ.).

4. Reznichenko, I.Yu., Renzyaeva, T.V., Kiseleva, T.F. & Lebedik, A.M. (2018). Consumer properties of marmalade with pomegranate and beet juice. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 13–16. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2018.01.003.

5. Raskina, S.I., Nesterova, O.V., Biryukova, N.V. & S.V. Kondrashev. (2018). Development of a recipe for marmalade with an extract of viburnum ordinary. *Medical education and university science*, 3(4), 118–120. (In Russ.).

6. Kharisova, L.M. (2018). Development of a marmalade formulation with the addition of sea buckthorn juice and replacement of sugar with stevioside. *NovalInfo.Ru*, 1(83), 59–62. (In Russ.).

7. Melnikova, L.E. & Gornich, E.A. (2019). Comparative evaluation of jelly-fruit marmalades with stevioside for dietary nutrition using various gelling agents. *Vestnik APK Verhnevolzh'ya*, (3), 51–55. (In Russ.).

8. Ibragimova, M.M. (2018). Investigation of the influence of the composition of model mixtures of marmalade on the acidforming ability of plaque bacteria. *Nutritional issues*, 87(S5), 275–276. (In Russ.).

9. Krylova, E.N., Savenkova, T.V., Kondratyev, N.B. & Mavrina, E.N. (2018). Technology for the production of protein-enriched jelly marmalade. *Food industry*, (11), 17–19. (In Russ.).

10. Skobelskaya, Z.G. Butin, S.A. & Lyubenin, I.A. (2018). Storage of functional fruit jelly containing flaxseed oil. *Storage and processing of agricultural raw materials*, (1), 16–19. (In Russ.).

11. Arnatovich, A.S. & Kabanova, T.V. (2019). Technology of production of jelly shaped marmalade based on milk cheese whey. *Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produktsii sel'skogo hozyajstva*, (21), 203–206. (In Russ.).

12. Khabibullina, R.R. & Budakova E. D. (2019). The use of malted extracts and sesame flour in the production of marmalade. *Student*, 23(2), 79–83. (In Russ.).

13. Budaeva, V.V., Egorova, E.Yu. & Baraboshkin K.S. (2004). Honey with a kernel and cedar nut flakes. *Food industry*, (12), 96–97. (In Russ.).

14. Magomedov, G.O., Lobosova, L.A., Petukhova, E.I. (2019). Development of marmalade recipes using buckwheat honey. *News of higher educational institutions. Food technology*, (5-6), 47–50. (In Russ.).

15. Pavlova, N.S. (Ed.). (2000). Collection of basic recipes for sugar confectionery. SPb.: GIORD. (In Russ.).

16. Kazantseva, I.L. (2015). Investigation of the forms of moisture binding in raw materials and finished confectionery products by the method of thermal analysis. *Hranenie i pererabotka sel'hozsyrya*, (7), 36–40. (In Russ.).

17. Marmalade. General technical conditions. *HOST 6442–2014 from 1 January 2016*. 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.

E. Yu. Egorova – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head 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 26.01.2021; одобрена после рецензирования 12.02.2021; принята к публикации 17.02.2021.

The article was received by the editorial board on 26 Jan 21; approved after reviewing on 12 Feb 21; accepted for publication on 17 Feb 21.

Научная статья

05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов плодовоовощной продукции и виноградарства (технические науки)

УДК 664.64

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.004

ПРИМЕНЕНИЕ КОНОПЛЯНОЙ МУКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КЕКСОВ

Людмила Алексеевна Козубаева

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия
cosubaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5131-4654>

Аннотация. Вопросы здорового питания возведены в ранг государственной политики. Мучные кондитерские изделия, несмотря на высокое содержание сахара и жира в традиционных видах, представляют собой перспективную основу для обогащения пищевыми волокнами, витаминами и другими функциональными ингредиентами. Поэтому использование конопляной муки, содержащей биологически активные вещества, для обогащения кексов – важная и актуальная задача. Целью работы явилось изучение влияния конопляной муки на потребительские, физико-химические показатели качества и пищевую ценность кексов. Установлено, что внесение конопляной муки придает готовым изделиям свойственный конопле вкус и запах. Структура и вид в изломе у изделий с конопляной мукой улучшаются. При увеличении содержания в тесте конопляной муки плотность кексов снижается. Целесообразная дозировка конопляной муки в кексы составила 10–15 %. В кексах в десятки раз возрастает содержание калия и кальция, доля магния увеличивается почти в 5 раз, железа и витамина В1 – в 2 раза. Показано, что внесение конопляной муки обеспечивает более близкое к рекомендуемому соотношение в изделиях белков, жиров и углеводов.

Ключевые слова: конопляная мука, кексы, качество, пищевая ценность, обогащение, макронутриенты и микронутриенты.

Для цитирования: Козубаева Л.А. Применение конопляной муки при производстве кексов // Ползуновский вестник. 2021. № 1. С. 27–33. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.004.

Original article

APPLICATION OF HEMP FLOUR IN THE PRODUCTION OF MUFFINS

Lyudmila A. Kozubaeva

Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia
cosubaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5131-4654>

Abstract. Problem of healthy eating has been elevated to the rank of government policy. Flour confectionery products, despite the high content of sugar and fat in its traditional types, represent a promising basis for enrichment with dietary fiber, vitamins and other functional ingredients. Therefore, the use of hemp flour containing biologically active substances for the enrichment of muffins is an important and urgent task. The aim of the work was to study the effect of hemp flour on consumer, physicochemical indicators of quality and nutritional value of muffins. It has been found that the addition of hemp flour gives distinctive taste and smell of hemp to finished products. The structure and appearance in the section of products with hemp flour are improved. The density of the muffins decreases as the content of hemp flour in the dough increases. A reasonable dosage of hemp flour in muffins is 10–15%. The content of potassium and calcium increases dozens of times in muffins, the proportion of

© Козубаева Л.А., 2021

magnesium increases by almost 5 times, iron and vitamin B1 increases by 2 times. It has been shown that the introduction of hemp flour provides a ratio of proteins, fats and carbohydrates that is closer to the recommended one.

Keywords: *hemp flour, muffins, quality, nutritional value, fortification, macronutrients and micronutrients.*

For citation: Kozubaeva, L.A. (2021). Application of hemp flour in the production of muffins. *Polzunovskiy vestnik*, 1, 27–33. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.004

В настоящее время во всех странах вопросам здорового питания уделяется большое внимание. Все больше потребителей предпочитают натуральные продукты с повышенной пищевой ценностью.

Мучные кондитерские изделия, благодаря разнообразному ассортименту и относительно низкой стоимости, пользуются спросом как в праздничные дни, так и в обычной жизни, и могли бы служить источником биологически активных веществ. Однако в их составе отмечается низкое, а иногда и полное отсутствие функциональных нутриентов. Вопросам повышения пищевой ценности мучных кондитерских изделий посвящено достаточно много работ [1–4].

Богатым источником биологически активных веществ может служить конопляная мука.

Конопляная мука уникальна уже тем, что в ее состав входит хлорофилл, который является аналогом гемоглобина. Поэтому мука из конопли – прекрасное средство для восстановления состава крови. Конопляная мука содержит клетчатку, которая стимулирует моторные функции пищеварительного тракта, перистальтику кишечника и жизнедеятельность полезной микрофлоры в нем. Кроме того, набухая в желудке, клетчатка создает ощущение сытости, уменьшая аппетит, и по-

могает в снижении веса. Содержащиеся в конопляной муке каротиноиды, магний, цинк, марганец, витамины (С, К, Е), придают ей бактерицидные свойства. [5].

В составе конопляного семени содержится 20 аминокислот, 9 из которых – незаменимые. Витамины и аминокислоты – аланин, метионин, изолейцин участвуют в синтезе инсулина.

Мука не содержит глютен, что очень важно для питания людей с аллергическими реакциями.

Учитывая богатый химический состав, изделия с конопляной добавкой следует рекомендовать для профилактического питания, а также при сердечнососудистых патологиях, ожирении, гиподинамии и др. [5].

Известно применение конопляной муки для повышения пищевой ценности мучных изделий. Показано, что конопляная мука восполняет минеральную ценность хлебобулочных и мучных кондитерских изделий [6–9].

В работе изучали возможность и целесообразность применения конопляной муки при производстве кексов. Для этого изменяли рецептуру, заменяя пшеничную муку конопляной мукой в количестве от 5 до 20 %.

В таблице 1 отражена характеристика органолептических показателей качества кексов.

Таблица 1 – Характеристика органолептических показателей качества кексов

Table 1 – Characteristics of organoleptic indicators of the quality of muffins

Наименование показателя	Характеристика показателя				
	Количество конопляной муки, %				
	–	5	10	15	20
1	2	3	4	5	6
Вкус и запах	Изделия со сладким вкусом и характерным ароматом предусмотренных в составе кексов пищевых ингредиентов, без посторонних привкусов и запахов			Свойственный вкусу компонентов, входящих в рецептуру кекса, с привкусом и запахом конопляной муки	
Поверхность	Верхняя – выпуклая, с характерными трещинами, с наличием явно выраженной боковой поверхности, на нижней и боковой поверхностях нет пустот, подгорелостей, разрывов и неровностей				

ПРИМЕНЕНИЕ КОНОПЛЯНОЙ МУКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КЕКСОВ

Продолжение таблицы 1 / Continuation of table 1

1	2	3	4	5	6
Вид в изломе	Полость куполообразная. По всему объему мякиша кексов равномерно распределены крупные включения				
Начинка	По цвету и консистенции однородная, равномерная				
Структура	Мягкая, разрыхленная, пористая	Мягкая, без пустот, но плотная	Мягкая, разрыхленная, пористая		
Форма	Правильная, с выпуклой верхней поверхностью. Нижняя и боковые поверхности ровные, без пустот и раковин				

Органолептическая оценка кексов с добавлением конопляной муки показала, что все изделия имели хороший внешний вид, а именно – выпуклую верхнюю поверхность, на которой присутствовали характерные трещины, и достаточный объем. Форма всех изделий была правильной.

Внесение в рецептуру 15 % и 20 % ко-

нопляной муки повлияло на аромат и вкус образцов, придавая им свойственный конопле запах и вкус. Так же изменялся цвет образцов: от насыщенного золотисто-желтого становился темнее, приобретал сероватый оттенок.

Образцы кексов представлены на рисунках 1–3.



Рисунок 1 – Внешний вид и структура мякиша кексов контрольного образца

Figure 1 – Appearance and structure of the control sample cake crumb



Рисунок 2 – Внешний вид и структура мякиша кексов с 10 % конопляной муки

Figure 2 – Appearance and structure of muffins crumb with 10 % hemp flour



Рисунок 3 – Внешний вид и структура мякиша кексов с 15 % конопляной муки

Figure 3 – Appearance and structure of muffins crumb with 15 % hemp flour

Для оценки качества кексов с конопляной мукой была составлена балльная шкала (таблица 2).

Результаты оценки качества кексов представлены в таблице 3.

Таблица 2 – Шкала оценки качества кексов в баллах

Table 2 – Scale for assessing the quality of muffins in points

Наименование показателя	Отлично	Хорошо	Удовлетворительно
Форма: правильная, с выпуклой верхней поверхностью. Нижняя и боковые поверхности ровные, без пустот и раковин	5–4	3,5–2,5	2–1
Вкус: изделия со сдобным вкусом, предусмотренных в составе кексов пищевых ингредиентов, без посторонних привкусов	5–4	3,5–2,5	2–1
Цвет: равномерный, от светло-соломенного до темно-коричневого	5–4	3,5–2,5	2–1
Запах: выраженный, свойственный данному виду изделия	5–4	3,5–2,5	2–1
Вид в изломе: допускается наличие куполообразной полости, не превышающей двух объемов начинки. Крупные добавки распределены равномерно	5–4	3,5–2,5	2–1
Поверхность: выпуклая, с характерными трещинами, с наличием явно выраженной боковой поверхностью.	5–4	3,5–2,5	2–1
Структура: мягкая, связанная, разрыхленная, без пустот и уплотнений	5–4	3,5–2,5	2–1
Итого	35–28	24,5–17,5	14–7

Таблица 3 – Результаты оценки качества кексов

Table 3 – Results of assessing the quality of muffins

Наименование показателя	Оценка кекса, балл				
	Количество конопляной муки, %				
	–	5	10	15	20
1	2	3	4	5	6
Форма	5,0	5,0	4,0	5,0	4,0
Вкус	5,0	5,0	5,0	3,5	3,5

ПРИМЕНЕНИЕ КОНОПЛЯНОЙ МУКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КЕКСОВ

Продолжение таблицы 3 / Continuation of table 3

1	2	3	4	5	6
Цвет	5,0	5,0	4,0	3,0	3,0
Запах	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0
Вид в изломе	4,0	5,0	4,0	5,0	5,0
Поверхность	5,0	5,0	4,0	5,0	4,0
Структура	3,0	4,0	4,0	5,0	5,0
Итого	32,0	34,0	30,0	30,5	28,5

Замена пшеничной муки конопляной в количестве до 15 % не сказалась на таких показателях, как форма кексов, их вкус, состояние поверхности. Можно отметить, что с увеличением дозировки используемой добавки улучшались вид в изломе и структура мякиша кексов. Однако цвет и запах полученных изделий с 15 % конопляной муки получили оценки ниже, чем контрольный образец. Связано это не столько с ухудшением указанных показателей, сколько с появлением в опытных образцах незнакомого и непривычного для потребителей вкуса. Таким образом,

суммарная оценка кексов с 5 % и 10 % конопляной муки была выше оценки контроля, а кексы с 15 % имели итоговую оценку на уровне контрольного образца. Добавление 20 % конопляной муки привело к снижению балльной оценки образцов. Изменилась форма, ухудшился цвет кексов – он приобрел серые тона, вкус конопляной муки преобладал и перебивал сладкий вкус готовых изделий.

Влияние добавления конопляной муки на физико-химические показатели качества кексов представлено на рисунках 4 и 5.

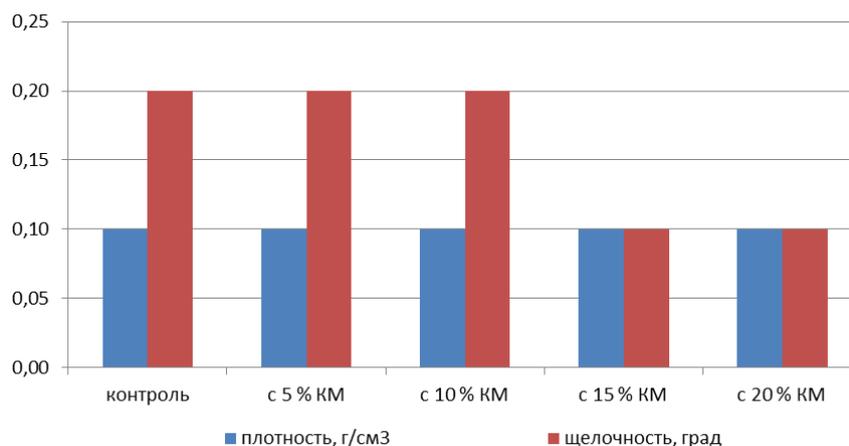


Рисунок 4 – Изменение плотности и щелочности кексов с конопляной мукой (КМ)

Figure 4 – Changes in density and alkalinity of muffins with hemp flour (CM)

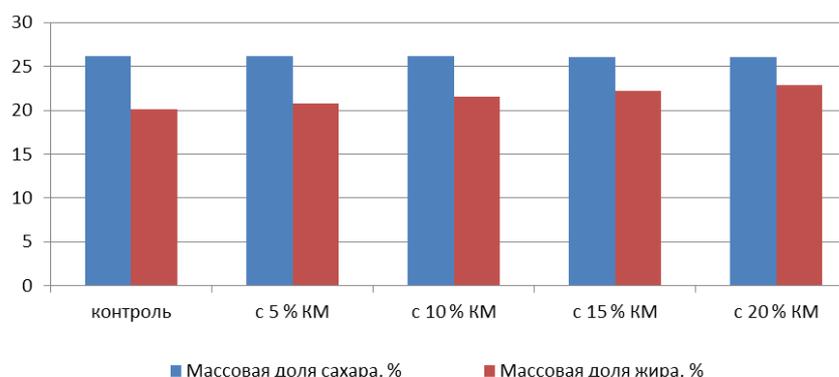


Рисунок 5 – Изменение массовой доли сахара и жира в кексах с конопляной мукой (КМ)

Figure 5 – Change in the mass fraction of sugar and fat in muffins with hemp flour (CM)

Из представленных данных можно видеть, что при замене пшеничной муки конопляной щелочность изделий значительно уменьшается, что вполне объяснимо, так как кислотность конопляной муки выше, чем у пшеничной.

Замена пшеничной муки на конопляную привела к некоторому понижению плотности кексов. Это указывает на большую пористость изделий с добавкой.

Массовая доля сахара в изделиях изменялась незначительно, в пределах ошибки измерения. Содержание жира в изделиях с конопляной мукой увеличилось, что закономерно, поскольку данная мука получена из семян высокомасличной конопля.

Массовая доля влаги образцов с конопляной мукой составляет 13,8–15,0 %, что ни-

же, чем у контрольного образца (15,9 %). Вероятно, причиной этого является увеличение содержания в тесте конопляной муки, состоящей из более крупных частиц. Эти частицы активно поглощают влагу при замесе теста, но во время выпечки плохо ее удерживают.

Исходя из представленных результатов, можно сделать вывод, что рекомендуемая дозировка конопляной муки составляет 10–15 % для получения изделий с хорошими показателями качества.

Особо следует отметить изменение пищевой ценности кексов с конопляной мукой. На рисунках 6–7 представлена сравнительная оценка кексов по основным составным веществам и микроэлементам, содержание которых возросло в наибольшей степени.



Рисунок 6 – Содержание в кексах макро- и микронутриентов

Figure 6 – Content of macro- and micronutrients in muffins

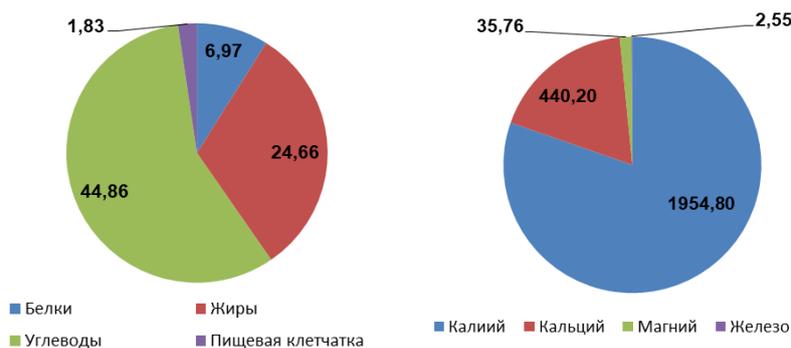


Рисунок 7 – Содержание макро- и микронутриентов в кексах с конопляной мукой

Figure 7 – Content of macro- and micronutrients in muffins with hemp flour

Следует отметить, что внесение конопляной муки привело к увеличению содержания в изделиях белков и жиров при одновременном снижении содержания углеводов. Тем самым обеспечивается более близкое к рекомендуемому соотношению белков, жиров и углеводов, в кексах в десятки раз возраста-

ет содержание калия и кальция, доля магния увеличивается почти в 5 раз, железа и витамина В1 – более чем в 2 раза. Увеличение доли перечисленных микронутриентов позволяет отнести кексы к группе функциональных изделий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьева В.М. Оптимизация микронутриентного состава мучных кондитерских изделий / В.М. Воробьева, И.С. Воробьева, А.А. Кочеткова, М.Н. Богачук, О.Г. Переверзева. // Москва : Пищевая промышленность. – 2014. – С. 74–77.
2. Захарова А.С. Мучные кондитерские изделия с брусникой / А.С. Захарова, Л.А. Козубаева, Е.Ю. Егорова // Ползуновский вестник. – 2019. – № 4. – С. 17–20.
3. Ларионова Е.И. Оптимизация рецептуры сахарного печенья с красной и черноплодной рябиной / Е.И. Ларионова, Л.А. Козубаева, И.А. Ларионова // Ползуновский вестник. – 2017. – № 2. – С. 37–40.
4. Toshev A.D. A method to increase the nutritional value of aerated confectioner / A.D. Toshev, A.S. Salomatov, A.S. Salomatov // Foods and Raw Materials. – 2014. – Т.2. – № 1. – С. 58–61.
5. Вировец В.Г. Сорты конопли без наркотической активности / В.Г. Вировец, Л.И. Горшкова, И.И. Щербаль // Технические культуры. – 1989. – № 5 – С. 35–36.
6. Корнилова А.П. Влияние введения льняной и конопляной муки на качественные характеристики хлебобулочных изделий / А.П. Корнилова, Е.В. Щербакоева // Сборник статей по материалам 72-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2016 год. 2017 «Научное обеспечение агропромышленного комплекса». – 2017. – С. 344–346.
7. Лукин А.А. Перспективы применения конопляной муки в технологии производства хлеба / А.А. Лукин, А.В. Зинин // Вестник современных исследований. – 2017. – № 9. – С. 120–124.
8. Мысаков Д.С. Исследование показателей качества мучного кондитерского изделия из смеси конопляной муки и муки из грецкого ореха / Сборник научных статей «Исследования и разработки молодых ученых в решении актуальных проблем XXI века». – Екатеринбург: УРГЭУ – 2017. – С. 77–83.
9. Сидоренко Т.А. Повышение качества ржано-пшеничного хлеба путем внесения конопляной добавки / Т.А. Сидоренко // Пищевая и перерабатывающая промышленность. Реферативный журнал. – 2006. – №1 – С. 98–100.

Информация об авторах

Л. А. Козубаева – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии хранения и переработки зерна» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

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

Статья поступила в редакцию 15.01.2021; одобрена после рецензирования 15.02.2021; принята к публикации 29.02.2021.

The article was received by the editorial board on 15 Jan 21; approved after reviewing on 15 Feb 21; accepted for publication on 29 Feb 21.

REFERENCES

1. Vorobyova, V.M., Vorobieva, I.S., Kochetkova, A.A., Bogachuk, M.N. & Pereverzeva O. G. (2014). Optimization of micronutrient composition of flour confectionery. *Food industry*, (3), 74–77. (In Russ.).
2. Zakharova, A.S., Kozubaeva, L.A. & Egorova, E.Yu. (2019). Flour confectionery products with lingonberries. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 17–20. (In Russ.). doi 10.25712/ASTU.2072-8921.2019.04.004.
3. Larionova, E.I., Kozubaeva, L.A., Larionova, I.A. (2017). Optimization of the formulation of sugar cookies with red and chokeberry. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 37–40. (In Russ.).
4. Toshev, A.D. & Salomatov, A.S. (2014). A method to increase the nutritional value of aerated confectioner. *Foods and Raw Materials*, 2(1), 58–61. (In Russ.).
5. Virovets, V.G., Gorshkova L.I. & Scherbal I.I. (1989). Cannabis varieties without narcotic activity. *Technical cultures*, (5), 35–36. (In Russ.).
6. Kornilova, A.P. & Shcherbakova, E.V. (2017). The influence of the introduction of flax and hemp flour on the qualitative characteristics of bakery products. *Collection of articles based on the materials of the 72nd scientific and Practical Conference of students on the results of research for 2016-2017 «Scientific support of the agro-industrial complex»*, (pp. 344–346). Krasnodar: KubSAU (In Russ.).
7. Lukin, A.A. & Zinin A.V. Prospects for the use of hemp flour in the technology of bread production (2017). *Vestnik sovremennyh issledovaniy*, (9), 120–124. (In Russ.).
8. Mysakov D.S. (2017). Study of quality indicators of flour confectionery from a mixture of hemp flour and walnut flour. *Collection of scientific articles «Research and development of young scientists in solving urgent problems of the 21 century»*. (pp. 77–83). Ekaterinburg: USUE. (In Russ.).
9. Sidorenko T.A. (2006). Improving the quality of rye-wheat bread by introducing hemp supplements. *Pishchevaya i pererabatyvayushchaya promyshlennost'.* *Referativnyy zhurnal*, (1), 98–100. (In Russ.).

Information about the authors

L. A. Kozubaeva – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technologies for Storage and Processing of Grain, Polzunov Altai State Technical University.

Научная статья

05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов плодовоовощной продукции и виноградарства (технические науки)

УДК 663.2, 663.8

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.005

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ САХАРОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНЬЯКОВ

Дарья Владиславовна Андриевская¹, Максим Александрович Захаров²,
Екатерина Владимировна Ульянова³, Ольга Николаевна Ободеева⁴

^{1,2,3,4}Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова, Москва, Россия

¹ vniipbivp@fnpcs.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5167-9074>

² vniipbivp@fnpcs.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4569-3088>

³ vniipbivp@fnpcs.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7112-1614>

⁴ vniipbivp@fnpcs.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1068-4245>

Аннотация. Актуальность данной работы обусловлена необходимостью существенного повышения качества и конкурентоспособности отечественной алкогольной продукции, среди которой коньяки занимают особое положение. Цель исследования состояла в изучении влияния глюкозно-фруктозных сиропов (ГФС) различных марок на органолептические показатели и стабильность (розливостойкость) коньяков, приготовленных из дистиллятов разного срока выдержки. В качестве объектов исследования в работе использовали коньячные дистилляты различного срока выдержки, полученные от российских производителей, умягченную воду, контрольные и опытные купажи коньяков трехлетних, пятилетних и коньяков выдержанных «КВ» (семилетних). Для оценки качественных показателей коньячных дистиллятов и купажей коньяков использовали общепринятые методы, установленные в действующей нормативной документации. Массовую концентрацию катионов, влияющих на розливостойкость коньяка, определяли по действующим методикам МОВВ. Показано, что введение в состав купажа вместо сахарного сиропа (контроль) промышленно выпускаемых ГФС не приводило к повышению концентрации катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} , и не оказало отрицательного влияния на стабильность готовой продукции. Сравнительная оценка сенсорных характеристик купажей коньяков показала, что образцы, содержащие глюкозно-фруктозные сиропы из пшеничного крахмала, превосходили контроль и образцы, приготовленные с использованием ГФС из кукурузного крахмала, по характеру и интенсивности букета, а также полноте и гармоничности вкуса. В результате исследования показана возможность использования глюкозно-фруктозных сиропов в купажах коньяков высокого качества.

Ключевые слова: сахаросодержащее сырьё, глюкозно-фруктозные сиропы, коньячные дистилляты, физико-химические показатели, минеральный состав, состав купажа, коньяки, розливостойкость, органолептическая характеристика.

Для цитирования: Изучение влияния сахаросодержащего сырья на качественные характеристики коньяков / Д.В. Андриевская, М.А. Захаров, Е.В. Ульянова, О. Н. Ободеева // Ползуновский вестник. 2021. № 1. С. 34-43. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.005.

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF SUGAR-CONTAINING RAW MATERIALS ON QUALITATIVE CHARACTERISTICS OF COGNACS

Daria V. Andrievskaya¹, Maxim A. Zakharov²,
Ekaterina V. Ulyanova³, Olga N. Obodeeva⁴

^{1, 2, 3, 4} Federal Scientific Center for Food Systems V.M. Gorbatova, Moscow, Russia

¹ vniipbivp@fnpcs.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5167-9074>

² vniipbivp@fnpcs.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4569-3088>

³ vniipbivp@fnpcs.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7112-1614>

⁴ vniipbivp@fnpcs.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1068-4245>

Abstract. *The relevance of this work lies in the need to improve significantly the quality and competitiveness of Russian alcoholic beverages, among which cognacs have a special position. The aim of the research was to study the effect of glucose-fructose syrups (GFS) of various brands on the organoleptic characteristics and stability (turbidity resistance) of cognacs prepared from distillates of different aging periods. As objects of research, we used cognac distillates of various aging periods obtained from Russian manufacturers, softened water, control and experimental blends of 3-year-old, 5-year-old and 7-year-old cognacs. We used the generally accepted methods established in the current regulatory documentation to assess the quality indicators of cognac distillates and cognac blends. The mass concentration of cations influencing the stability of cognac was determined according to the current OIV methods. It was shown that the introduction of industrially produced glucose-fructose syrups into the blend instead of sugar syrup (control) did not lead to an increase in the concentration of Ca²⁺ and Mg²⁺ cations and did not have a negative effect on the stability of the finished product. A comparative assessment of the sensory characteristics of cognac blends showed that the samples, containing glucose-fructose syrups from wheat starch, were superior to the control samples and samples, prepared using glucose-fructose syrups from corn starch in terms of the nature and intensity of the aroma, as well as the fullness and harmony of taste. As a result of the research, we have shown that it is possible to use glucose-fructose syrups in blends of high quality cognacs.*

Keywords: *sugar-containing raw materials, glucose-fructose syrups, cognac distillates, physico-chemical indicators, mineral composition, blend composition, cognacs, bottling resistance, organoleptic characteristics.*

For citation: Andrievskaya, D.V., Zakharov, M.A., Ulyanova, E.V. & Obodeeva, O.N. (2021). Research of the influence of sugar-containing raw materials on qualitative characteristics of cognacs. *Polzunovskiy vestnik*, 1, 34-43. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.005.

В условиях возрастающей конкуренции на рынке алкогольной продукции, в т. ч. в сегменте дорогих спиртных напитков, особую значимость приобретают потребительские свойства выпускаемой продукции – совокупность качественных характеристик, среди которых важное значение имеют органолептические показатели и стабильность качества в течение определенного времени.

Известно, что коньяк представляет собой многокомпонентную смесь, основными составляющими которой являются коньячные дистилляты, умягченная вода, сахарный сироп и колер. Нарушение ее физико-химического равновесия может привести к потере прозрачности вследствие образова-

ния помутнений и выпадения осадка, что приводит к утрате товарного вида готовой продукции.

Как показывают проведенные исследования, основная доля помутнений коньяков связана с присутствием в них ряда катионов (кальция, магния, железа, цинка, алюминия) анионов (гидрокарбонатов, сульфатов, хлоридов) [1, 2], качественный состав и количественное содержание которых зависит, в первую очередь, от физико-химического состава использованных купажных материалов. Основным компонентом купажа коньяка являются коньячные дистилляты. Как известно, в процессе многолетней выдержки они обо-

гащаются компонентами древесины дуба, в т. ч. минеральными веществами [1, 3].

Вода, входящая в составе купажа, также занимает значительную часть его объема, и, кроме того, используется при приготовлении сахарного сиропа и колера. Согласно требованиям действующей нормативной документации [4], для производства коньяков применяют питьевую воду с жесткостью не более 0,36 °Ж или не более 1,0 °Ж (для умягченной и естественной неумягченной воды соответственно). Жесткость используемой в купажах умягченной воды обусловлена преимущественно присутствием солей кальция и магния, которые, как было установлено ранее [3, 5, 6], могут оказывать влияние на вкусовые характеристики спиртного напитка.

С целью формирования конкретных органолептических характеристик продукции в качестве сахаросодержащего компонента применяют белый сахар, который вносят в купаж в виде сахарного сиропа. Белый сахар используют также для приготовления еще одного компонента купажа – колера. Как показывает ряд исследований, потеря стабильности готовой продукции нередко обусловлена повышенным содержанием в этом сырье отдельных соединений и, прежде всего, катионов кальция [2, 7–9].

В настоящее время за рубежом в качестве альтернативного сахаросодержащего компонента широкое применение в пищевой промышленности находят глюкозно-фруктозные сиропы (далее – ГФС), получаемые путем осахаривания выделенного из сырья крахмала и изомеризации части D-глюкозы, содержащейся в глюкозном сиропе, в D-фруктозу. Изменяя соотношение глюкозы и фруктозы, получают различные виды ГФС: с массовой долей фруктозы менее 20 %, от 20 до 50 % и более 50 %. В России в последние годы также наблюдается рост их производства, при этом в качестве исходного сырья используют пшеницу [10, 11].

По сравнению с сахарным сиропом, приготовленным традиционным способом, ГФС имеют некоторые преимущества. Так, в процессе производства они проходят многоступенчатую очистку, что позволяет удалить из них белки и минеральные вещества. ГФС не нуждаются в предварительном растворении, следовательно, сокращаются внутрицеховые затраты на переработку товарного сахара для получения из него сиропа [12]. При этом коэффициент сладости фруктозы относительно сахарозы, как известно, намного выше и составляет 1,7. Следовательно, это может

повлиять на расход данного сырья при производстве продукции.

В связи с вышеизложенным, целью данной работы являлось исследование влияния ГФС различных марок на органолептические показатели и стабильность (розливостойкость) коньяков, приготовленных из дистиллятов разного срока выдержки.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись коньячные дистилляты различного срока выдержки, полученные от российских производителей; умягченная (подготовленная) вода, полученная в лабораторных условиях с использованием установки «Cadurex» (A. Holstein, Германия); контрольные и опытные купажи коньяков трехлетних, пятилетних и коньяков выдержанных «КВ» (семилетних). Приготовление контрольных образцов осуществляли с использованием 70 %-го частично инвертированного сахарного сиропа. Сахарный сироп готовили по традиционной технологии путем растворения при нагревании кристаллического белого свекловичного сахара категории «Экстра» (по ГОСТ 33222-2015 «Сахар белый. Технические условия») в умягченной воде с добавлением лимонной кислоты. Опытные образцы купажей готовили с использованием промышленно выпускаемых российскими предприятиями глюкозно-фруктозных сиропов различных товарных марок из пшеничного крахмала (ГФС 42, ГФС 55, ГФС 70) и из кукурузного крахмала (ГФС MFx42.1).

Для оценки физико-химических и органолептических показателей объектов исследования использовали общепринятые методы, установленные в действующей нормативной документации [4, 13, 14]. Массовую концентрацию катионов, влияющих на розливостойкость коньяка определяли по действующим методикам МОВВ [15].

Для визуализации результатов органолептического анализа использовали дескрипторно-профильный метод [16].

Результаты и их обсуждение

На первом этапе работы были определены нормируемые физико-химические показатели исходных коньячных дистиллятов (таблица 1).

Установлено, что все образцы коньячных дистиллятов, использованные для приготовления купажей, по физико-химическим показателям соответствовали требованиям действующей нормативной документации (ГОСТ 31728-2014). Наиболее существенные

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ САХАРОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНЬЯКОВ

различия между образцами наблюдались в содержании экстрактивных веществ – с увеличением продолжительности выдержки массовая концентрация общего экстракта закономерно возрастала почти в два раза.

При определении качественного и количественного состава катионов было зафикси-

ровано максимальное содержание ионов Na^+ , K^+ и Mg^{2+} в коньячных дистиллятах пятилетней и семилетней выдержки, а максимальная концентрация ионов Ca^{2+} была отмечена в дистилляте коньячном трехлетней выдержки (таблица 2).

Таблица 1 – Физико-химические показатели исследуемых коньячных дистиллятов

Table 1 – Physicochemical indicators of the investigated cognac distillates

Наименования показателя	Образец дистиллята коньячного		
	трехлетний	пятилетний	семилетний
Объемная доля этилового спирта, %	63,5	63,1	64,8
Массовая концентрация высших спиртов в пересчете на изоамиловый спирт, мг/100 см ³ б/с	261	247	228
Массовая концентрация альдегидов в пересчете на уксусный альдегид, мг/100 см ³ б/с	31,8	26,9	24,9
Массовая концентрация средних эфиров в пересчете на уксусно-этиловый эфир, мг/100 см ³ б/с	132	98	102
Массовая концентрация летучих кислот в пересчете на уксусную кислоту, мг/100 см ³ б/с	80	71	65
Массовая концентрация фурфурола, мг/100 см ³ б/с	0,9	0,8	0,4
Массовая концентрация общего диоксида серы, мг/дм ³	12	11	11
Массовая концентрация меди, мг/дм ³	0,4	0,4	0,2
Массовая концентрация железа, мг/дм ³	0,2	0,3	0,3
Массовая концентрация общего экстракта, г/дм ³	0,79	1,41	1,47

Таблица 2 – Качественный и количественный состав катионов металлов в коньячных дистиллятах и умягченной воде

Table 2 – Qualitative and quantitative composition of metal cations in cognac distillates and softened water

Объект исследования	Массовая концентрация катионов, мг/дм ³			
	Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}
Дистиллят коньячный трехлетний	5,1	7,6	0,4	2,1
Дистиллят коньячный пятилетний	20,4	18,2	1,3	1,5
Дистиллят коньячный семилетний	7,4	10,5	1,9	1,4
Вода умягченная	0,8	0,2	0,4	1,4

Установленные различия в концентрации катионов в выдержанных коньячных дистиллятах обусловлены рядом факторов, в т. ч. условиями выдержки, качеством и происхождением древесины дуба, в контакте с которой выдерживался дистиллят, продолжи-

тельностью выдержки, особенностями технологии, принятой на предприятии.

Как видно из представленных данных, умягченная вода, используемая для приготовления купажей и сахарного сиропа, содержала незначительные концентрации со-

лей жесткости и характеризовалась как очень мягкая – жесткость составила 0,1°Ж.

Таким образом, полученные данные по составу и массовой концентрации катионов металлов в купажных материалах (выдержанных коньячных дистиллятах и умягченной воде) позволили прогнозировать получение розливостойких купажей.

Опытные и контрольные купажи коньяков готовили по принятой технологии с дове-

дением их до одинаковых кондиций по спирту (40,0 % об.) и массовой концентрации сахаров (20 г/дм³).

Далее готовые купажи направляли на отдых, продолжительность которого составляла: для коньяков трех- и пятилетних – 3 мес.; для коньяков выдержанных «КВ» – 9 мес.

Таблица 3 – Качественный и количественный состав катионов металлов в коньяках

Table 3 – Qualitative and quantitative composition of metal cations in cognacs

Наименование объекта исследования	Массовая концентрация катионов, мг/дм ³			
	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
Коньяк трехлетний (сахарный сироп)	5,5	8,2	0,8	3,9
Коньяк трехлетний (ГФС МФх42.1)	5,4	7,9	0,7	3,5
Коньяк трехлетний (ГФС 42)	5,3	8,1	0,6	2,5
Коньяк трехлетний (ГФС 55)	5,4	8,0	0,5	2,7
Коньяк трехлетний (ГФС 70)	5,4	7,7	0,7	2,3
Коньяк пятилетний (сахарный сироп)	22,7	20,2	1,9	2,3
Коньяк пятилетний (ГФС МФх42.1)	22,4	20,1	2,1	1,9
Коньяк пятилетний (ГФС 42)	21,1	19,6	1,6	1,9
Коньяк пятилетний (ГФС 55)	20,7	18,7	1,4	1,8
Коньяк пятилетний (ГФС 70)	20,7	18,4	1,3	1,6
Коньяк «КВ» (сахарный сироп)	8,2	12,4	2,4	1,9
Коньяк «КВ» (ГФС МФх42.1)	8,0	11,8	2,2	1,8
Коньяк «КВ» (ГФС 42)	7,8	11,4	2,3	1,7
Коньяк «КВ» (ГФС 55)	7,7	10,8	2,0	2,0
Коньяк «КВ» (ГФС 70)	7,6	10,6	2,0	1,6

С целью определения оптимальных параметров технологической обработки опытные и контрольные образцы подвергали испытаниям на склонность к коллоидным, белковым и кальциевым помутнениям в соответствии с принятыми методами испытаний коньяков [5]. Установлено, что все образцы сохраняли розливостойкость и не нуждались в дополнительных обработках, что подтверждается, в т. ч. результатами исследования их ионного состава (таблица 3).

Отмечено, что состав катионов коньяков и их концентрация коррелировала с их составом и концентрацией в исходных дистиллятах. Максимальное содержание катионов Na⁺ и K⁺ зафиксировано в образцах коньяков пятилетних: 20,7–22,7 и 18,4–20,2 мг/дм³, соответственно. Коньяки семилетние отличались наибольшей концентрацией ионов Mg²⁺ (2,0–2,4 мг/дм³), тогда как коньяки трехлетние выделялись по содержанию Ca²⁺ (2,3–3,9 мг/дм³).

В состав факторов, гарантирующих стойкость коньяка к образованию кристаллических осадков, входит содержание ионов

натрия и кальция на уровне не более 30,0 мг/дм³ и 5,0 мг/дм³ соответственно. В исследованных образцах после внесения в них сахаросодержащих компонентов и выдержки эти значения не были превышены.

Таким образом, установлено, что использование в купажах коньяков глюкозно-фруктозных сиропов в качестве сахаросодержащего сырья не оказало отрицательного влияния на стабильность готовой продукции.

Как известно, полная органолептическая характеристика коньяков представляет собой совокупность трех основных показателей: внешнего вида, букета и вкуса. В результате проведенной дегустации установлено, что органолептические показатели всех коньяков отвечали требованиям ГОСТ 31732-2014. Все образцы были прозрачные, без посторонних включений и осадка, имели характерный цвет (от золотистого до янтарного), букет и вкус, характерные для коньяка данного наименования, без посторонних оттенков.

Для выявления различий в сенсорных характеристиках опытных образцов и визуализации результатов органолептического

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ САХАРОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНЬЯКОВ

анализа был применен дескрипторно-профильный метод. С этой целью были выбраны соответствующие дескрипторы:

- оттенки букета – плодовые, цветочные, ванильные, энантовые, тона древесины, гармония; пряные тона – в качестве дополнительной характеристики для коньяков выдержанных «КВ»;

- описание вкуса – полнота, мягкость, жгучесть, чистота, тона древесины, мыльные тона, гармония.

Количественная оценка весомости дескрипторов проводилась по 10-балльной шкале. На основании полученных данных были построены профили букета (аромата) и вкуса опытных образцов (рисунки 1–3), а также проведена их сравнительная оценка.

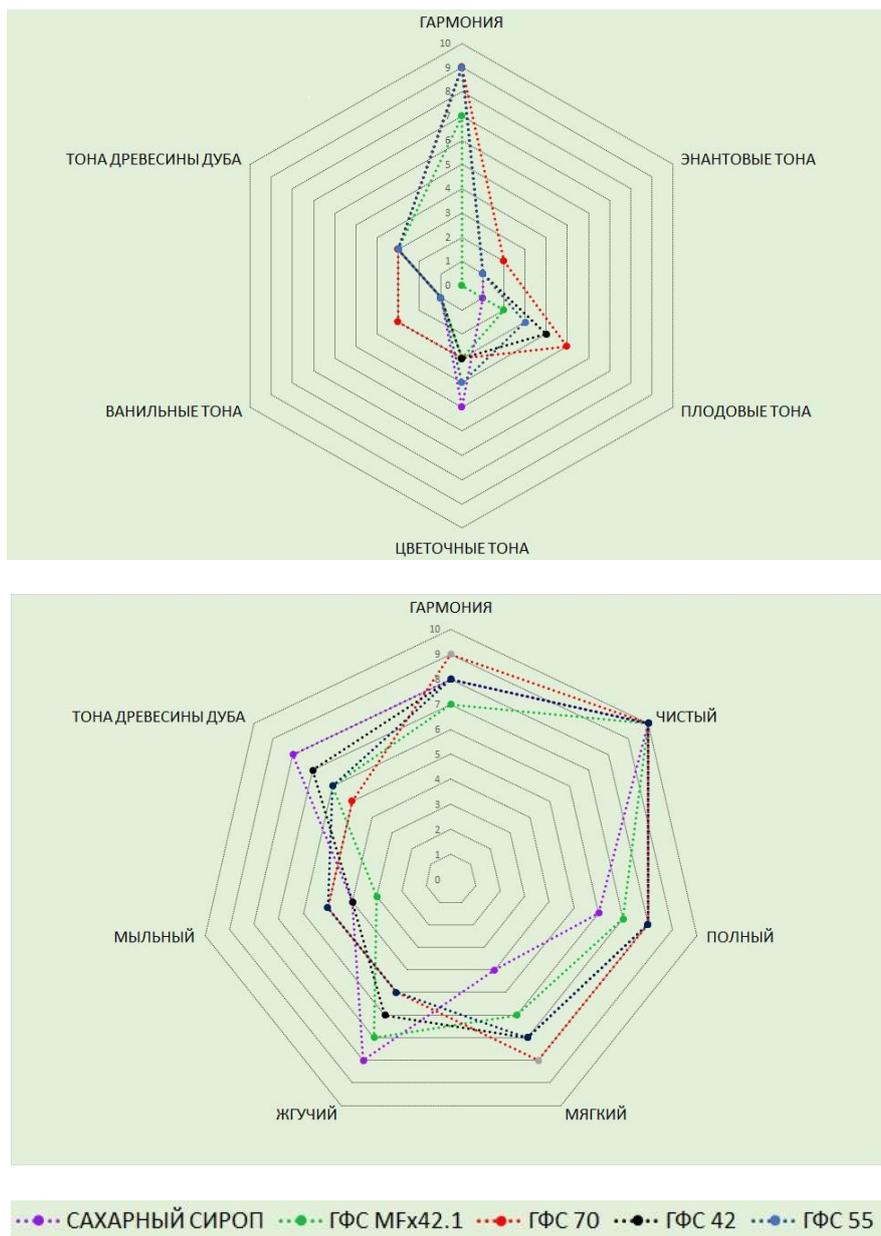


Рисунок 1 – Вкусо-ароматический профиль коньяков трехлетних

Figure 1 – Taste-aromatic profile of three-year-old cognacs

Все образцы коньяков трехлетних в букете были гармоничные, с плодово-цветочными тонами, легкими тонами древесины дуба, ванильными и энантовыми оттенками; во вкусе – гармоничные, чистые, различной степенью выраженности дескрипто-

сины дуба, ванильными и энантовыми оттенками; во вкусе – гармоничные, чистые, различной степенью выраженности дескрипто-

ров. В образце коньяка, содержащего сахарный сироп (контроль), в букете преобладали цветочные тона, во вкусе ощущались выраженные тона древесины дуба и жгучесть при незначительной полноте мала (ГФС 42, ГФС 55 и ГФС 70) характеризовались в букете ин-

тенсивными плодово- цветочными тонами с ванильными оттенками; во вкусе были наиболее полные и мягкие с незначительными тонами древесины дуба и легкой жгучестью.

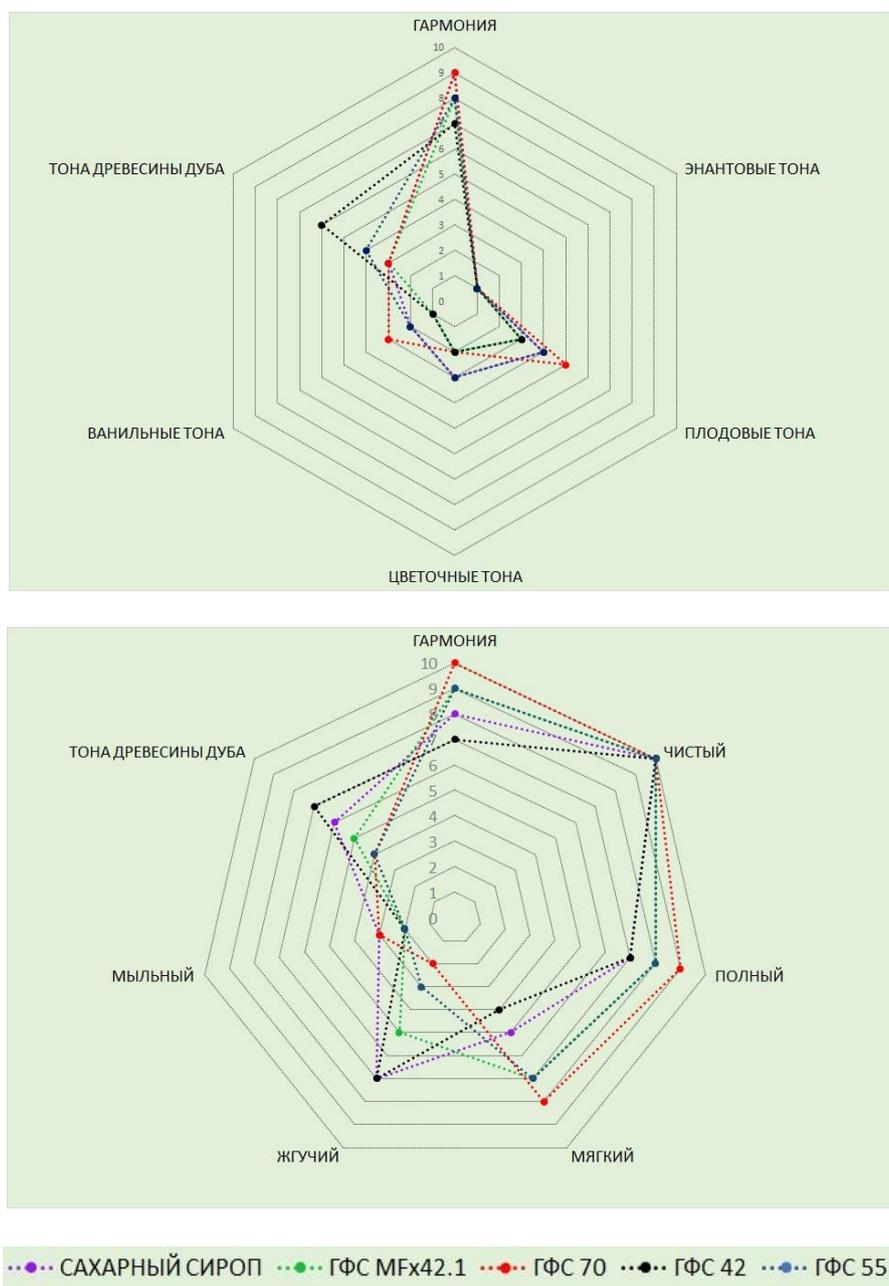


Рисунок 2 – Вкусо-ароматический профиль коньяков пятилетних

Figure 2 – Taste-aromatic profile of five-year-old cognacs

Образец коньяка с глюкозно-фруктозным сиропом из кукурузного крахмала (ГФС МFх42.1) обладал наименее гармоничным

букетом с легкими цветочно-плодовыми тонами. При этом во вкусе был достаточно полным и мягким.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ САХАРОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНЬЯКОВ

Коньяки пятилетние в букете были гармоничные, с плодово-цветочными тонами и тонами древесины дуба, с ванильными и легкими энантовыми оттенками; во вкусе – гар-

моничные, чистые, с различной степенью выраженности дескрипторов.

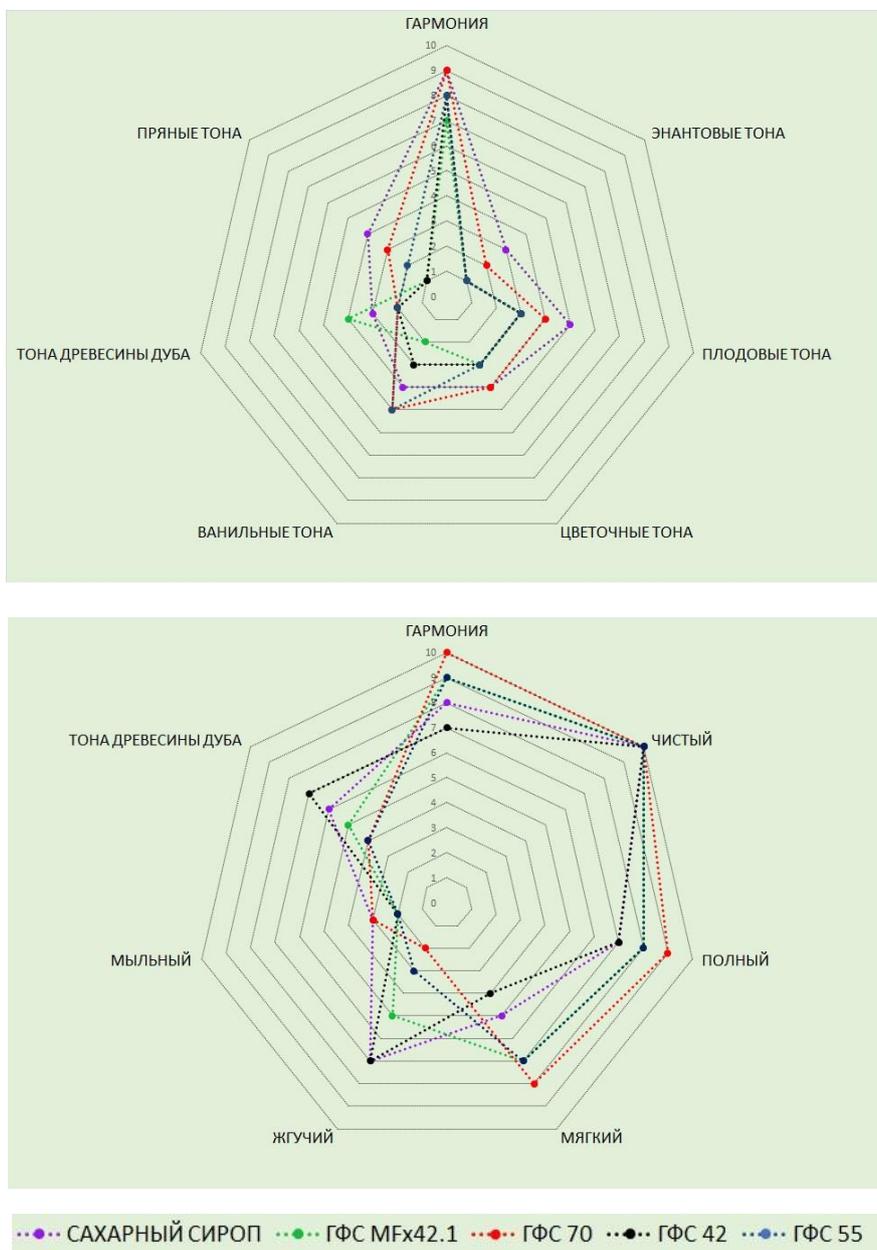


Рисунок 3 – Вкусо-ароматический профиль коньяков семилетних

Figure 3 – Taste-aromatic profile of seven-year-old cognacs

В данной группе коньяков следует выделить образцы, содержащие ГФС МFх42.1 и ГФС 42, которые отличались от остальных слабым букетом и выраженными тонами древесины дуба во вкусе.

Коньяки выдержанные «КВ» в букете были гармоничные, с яркими плодово-цветочными тонами и ванильными тонами, с *POLZUNOVSKIY VESTNIK № 1 2021*

пряными и энантовыми оттенками, легкими тонами древесины дуба. Во вкусе – гармоничные, мягкие, полные, чистые, с легкими тонами древесины дуба и мыльными оттенками. При этом образец с ГФС МFх42.1 отличался менее интенсивным букетом и несколько менее полным вкусом.

Проведенная сравнительная оценка сенсорных профилей коньяков показала, что образцы, содержащие глюкозно-фруктозные сиропы из пшеничного крахмала (ГФС 42, ГФС 55, ГФС 70), имели в букете наиболее выраженные плодово-цветочные тона с ванильными оттенками, а во вкусе характеризовались большей полнотой и мягкостью по сравнению с контролем и образцами, в составе которых присутствовал ГФС из кукурузного крахмала (ГФС МГХ42.1).

Появления посторонних тонов в букете и вкусе опытных купажей коньяков при использовании глюкозно-фруктозных сиропов в качестве сахаросодержащего сырья не выявлено.

Также в ходе дегустации во всех образцах оценивали ощущение сладости. Было установлено, что при одинаковой массовой концентрации сахаров в коньяках, образцы с ГФС 70 воспринимались как более сладкие. Это обусловлено особенностями состава его сахаров – ГФС 70 относится к высокофруктозным сиропам (массовая доля фруктозы в нем составляет более 70 %). Таким образом, при использовании ГФС 70 в составе купажей коньяков его расход относительно сахарного сиропа и других марок ГФС может быть снижен, что может привести к повышению эффективности производства.

Таким образом, результаты проведенного исследования показали, что использование ГФС в качестве сахаросодержащего сырья позволяет получить готовую продукцию высокого качества, отвечающую требованиям нормативной документации по органолептическим показателям. Установлено, что применение глюкозно-фруктозных сиропов в качестве сахаросодержащего сырья не оказывает отрицательного влияния на стабильность коньяков.

В целом полученные результаты позволили сделать заключение о возможности использования глюкозно-фруктозных сиропов в технологии коньяков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оганесянц, Л.А. Проблема стабилизации коньяков / Л.А. Оганесянц, А.Е. Линецкая, А.В. Данилян // *Виноделие и виноградарство*. – 2005. – № 1. – С. 24–25.
2. Христюк, В.Т. Состав осадков коньяков и причины их образования / В.Т. Христюк, А.В. Бережная, Н.М. Агеева // *Известия ВУЗов. Пищевая технология*. – 2003. – № 5–6. – С. 129.
3. Скурихин, И.М. Химия коньяка и бренди / И.М. Скурихин. – М.: Делипринт, 2005. – 296 с.

4. ГОСТ 31732-2014. Коньяк. Общие технические условия. – Введ. 01-07-2015. – М.: Стандартинформ, 2015. – 5 с.

5. Мартыненко, Э.Я. Технология коньяка / Э.Я. Мартыненко. – Симферополь: Таврида, 2003. – 320 с.

6. Севостьянова, Е.М. Влияние технологической воды на органолептические характеристики крепких напитков / Е.М. Севостьянова, В.П. Осипова, Е.В. Хорошева, Г.А. Ремнева // *Пиво и напитки*. – 2017. – № 3. – С. 40–43.

7. Кузьмина, Е.И. Сахар в производстве вин и безалкогольных напитков / Е.И. Кузьмина // *Сахар*. – 2009. – № 7. – С. 35–38.

8. Агеева, Н.М. Влияние качества сахара на устойчивость винодельческой продукции к помутнениям [На примере составления и оценки розливостойкости купажей коньяков] / Н.М. Агеева, В.Г. Попандопуло, Т.С. Кожанова, Ю.В. Дробязко // *Новации и эффективность производственных процессов в виноградарстве и виноделии / Сев.-Кавк. зон. науч.-исслед. ин-т садоводства и виноградарства*. – Краснодар, 2005. – Т. 2. – С. 147–150.

9. Чернявская, Л.М. Содержание зольных элементов в белом сахаре, методы их контроля и снижения / Л.М. Чернявская, Ю.А. Моканюк, В.И. Кухар, А.В. Чернявский // *Сахар*. – 2017. – № 11. – С. 40–47.

10. Гольдштейн, В.Г. Перспективы глубокой переработки зерна пшеницы / В.Г. Гольдштейн, Д.С. Куликов, С.А. Страхова // *Пищевая промышленность*. – 2018. – № 7. – С. 14–19.

11. Аксенов, В.В. Комплексная переработка растительного крахмалсодержащего сырья в России / В.В. Аксенов // *Вестник КрасГАУ*. – 2007. – № 4. – С. 213–218.

12. Хузин, Ф.К. Влияние различных подслащивающих веществ на бродительную активность дрожжей / Ф.К. Хузин, Т.А. Ямашев, З.А. Канарская, А.В. Канарский, О.А. Решетник // *Хлебопродукты*. – 2013. – № 8. – С. 36–38.

13. ГОСТ 31728-2014. Дистилляты коньячные. Технические условия. – Введ. 01-01-2017. – М.: Стандартинформ, 2015. – 5 с.

14. ГОСТ 32051-2013. Продукция винодельческая. Методы органолептического анализа. – Введ. 01-07-2014. – М.: Стандартинформ, 2013. – 13 с.

15. Сборник международных методов анализа и оценки вин и сусел. Перевод с французского и общ. редакция Н.А. Мехузла. – М.: Пищевая промышленность, 1993. – С. 166–180.

16. Матисон, В.А. Применение дескрипторно-профильного метода для оценки качества продуктов питания / В.А. Матисон, Н.И. Арутюнова, Е.Д. Горячева // *Пищевая промышленность*. – 2015. – № 6. – С. 52–54.

Информация об авторах

Д. В. Андриевская – кандидат технических наук, научный сотрудник Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ САХАРОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНЬЯКОВ

М. А. Захаров – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова.

Е. В. Ульянова – кандидат химических наук, научный сотрудник Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова.

О. Н. Ободеева – младший научный сотрудник Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова.

REFERENCES

1. Oganesyants, L.A., Linetskaya, A.E. & Daniyan, A.V. (2005). The problem of cognac stabilization. *Winemaking and viticulture*, (1), 24–25. (In Russ.).
2. Khristiuk, V.T., Berezhnaya, A.V., Ageeva, N.M. (2003). The composition of cognac sediments and the reasons for their formation. *Izvestiya VUZov. Food technology*, (5–6), 129. (In Russ.).
3. Skurikhin, I.M. (2005). *Chemistry of cognac and brandy*. Moscow : DeLi print.
4. Cognac. General technical conditions. (2015). *HOST 31732-2014 from 01-07-2015*. Moscow: Standartinform. (In Russ.).
5. Martynenko, E.Ya. (2003). *Cognac technology*. Simferopol : Tavrida. (In Russ.).
6. Sevostyanova, E.M., Osipova, V.P., Khorosheva, E.V. & Remneva, G.A. (2017). Influence of technological water on the organoleptic characteristics of strong drinks. *Beer and drinks*, (3), 40–43. (In Russ.). (In Russ.).
7. Kuzmina, E.I. (2009). Sugar in the production of wines and soft drinks. *Sugar*, (7), 35–38. (In Russ.).
8. Ageeva, N.M., Popandopulo, V.G., Kozhanova, T.S. & Drobyazko, Yu.V. (2005). Influence of sugar quality on the resistance of wine products to turbidity [On the example of compiling and evaluating the bottle-resistance of cognac blends]. *Innovations and efficiency of production processes in viticulture and winemaking*, (2), 147–150. (In Russ.).

9. Chernyavskaya, L.M., Mokanyuk, Yu.A., Kukhar, V.I. & Chernyavsky, A.V. (2017). The content of ash elements in white sugar, methods of their control and reduction. *Sugar*, (11), 40–47. (In Russ.).

10. Goldstein, V.G., Kulikov, D.S. & Strakhova S.A. (2018). Prospects for deep processing of wheat grain. *Food industry*, (7), 14–19. (In Russ.).

11. Aksenov, V.V. (2007). Complex processing of vegetable starch-containing raw materials in Russia. *Vestnik KrasGAU*, (4), 213–218. (In Russ.).

12. Khuzin, F.K., Yamashev, T.A., Kanarskaya, Z.A., Kanarsky, A.V. & Rechetnik O.A. (2013). Influence of various sweeteners on yeast fermentation activity. *Bread products*, (8), 36–38.

13. Cognac distillates. Technical conditions. (2015). *HOST 31728-2014 from 01-01-2017*. Moscow : Standartinform. (In Russ.).

14. Wine products. Organoleptic analysis methods. (2013). *HOST 32051-2013 from 01-07-2014*. Moscow: Standartinform. (In Russ.).

15. *Collection of international methods of analysis and evaluation of wines and musts*. (1993). Translation from French N.A. Mekhuzla (Ed.). Moscow: Food industry. (pp. 166–180). (In Russ.).

16. Matison, V.A., Arutyunova, N.I. & Goryacheva, E.D. (2015). Application of the descriptor-profile method for assessing the quality of food products. *Food industry*, (6), 52–54. (In Russ.).

Information about the authors

D. V. Andrievskaya – Candidate of Technical Sciences, Researcher at the Federal Scientific Center for Food Systems V.M. Gorbatova.

M. A. Zakharov – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of the Federal Scientific Center for Food Systems V.M. Gorbatova.

E. V. Ulyanova – Candidate of Science (Chemistry), Researcher at the Federal Scientific Center for Food Systems V.M. Gorbatova.

O. N. Obodeeva – Junior Researcher at the Federal Scientific Center for Food Systems V.M. Gorbatova.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 09.12.2020; одобрена после рецензирования 12.02.2021; принята к публикации 17.02.2021.

The article was received by the editorial board on 09 Dec 20; approved after reviewing on 12 Feb 21; accepted for publication on 17 Feb 21.

Научная статья

05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства (технические науки)

УДК 621.867:664

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.006

СИЛОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ФАЗ ДВУХКОМПОНЕНТНОГО ПОТОКА СО СТЕНКАМИ КАНАЛА

Владимир Петрович Тарасов ¹, Андрей Владимирович Тарасов ²

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

¹ mapp.tar@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4673-5646>

² ptu110@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6371-9990>

Аннотация. Пневматический транспорт широко используется в самых различных отраслях человеческой деятельности. Благодаря целому ряду достоинств он с успехом применяется для перемещения сыпучих материалов пищевой промышленности. В основу проектирования различных систем пневматического транспорта положен гидравлический расчет, основной целью которого является выявление сил сопротивления движущемуся двухкомпонентному потоку. Одной из наиболее значащих сил, определение которой вызывает значительные трудности, является сила взаимодействия компонентов потока со стенками канала – материалопровода. Обоснована необходимость рассчитывать объемную силу взаимодействия транспортируемого материала со стенкой канала в зависимости от скорости материала. Предложены расчетные зависимости для сил взаимодействия материала и воздуха со стенками канала. Определены численные значения коэффициентов при транспортировании некоторых пищевых продуктов (муки, отрубей, комбикормов). Приводятся диаграммы изменения взаимодействия компонентов аэросмеси в зависимости от скорости их движения. Выдвигаются и анализируются причины влияния скорости на характер и величину сил взаимодействия компонентов аэросмеси со стенкой канала. Предлагаются наиболее рациональные режимы движения аэросмеси.

Ключевые слова: пищевая промышленность, пневматический транспорт, аэросмесь, силы взаимодействия компонентов со стенкой канала; скорость воздуха, материала, продукты переработки зерна.

Для цитирования: Тарасов В.П., Тарасов А.В. Силковое взаимодействие фаз двухкомпонентного потока со стенками канала // Ползуновский вестник. 2021. № 1. С. 44-50. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.006.

Original article

FORCE INTERACTION BETWEEN THE PHASES OF TWO-COMPONENT FLOW AND THE TUBE WALLS

Vladimir P. Tarasov ¹, Andrey V. Tarasov ²

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

¹ mapp.tar@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4673-5646>

² ptu110@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6371-9990>

Abstract. Pneumatic transport has wide application in various kinds of human activity. It is successfully used in food industry for transporting bulk materials, because of a number of its advantages.

©Тарасов В.П., Тарасов А.В., 2021

СИЛОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ФАЗ ДВУХКОМПОНЕНТНОГО ПОТОКА СО СТЕНКАМИ КАНАЛА

The design of various pneumatic transport systems is based on hydraulic calculation. Its main purpose is to identify the forces of resistance to moving two-component flow. One of the most significant forces, which is quite difficult to be defined, is the force of the flow components interaction with the channel walls – the material line. The necessity to calculate the volumetric force of transported material interaction with the channel wall depending on the material speed has been substantiated. Calculated dependencies for the forces of material and air interaction with the tube walls are proposed. The numerical values of the coefficients when transporting some food products (flour, bran, mixed fodders) have been determined. The diagrams of changes in interaction of air mixture components depending on their speed are given. The reasons for the velocity influence on the nature and magnitude of interaction forces between the air mixture components and the tube wall are proposed and analyzed. The most rational modes of air mixture movement are offered.

Keywords: food industry, pneumatic transport, air mixture, forces of components interaction with the tube wall; air velocity, material speed, grain products.

For citation: Tarasov, V.P., & Tarasov, A.V. (2021). Force interaction between the phases of two-component flow and the tube walls. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 44-50. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.006

Аэродисперсные двухкомпонентные потоки распространены в природе и широко используются в различных отраслях человеческой деятельности. Одной из наиболее известных сфер применения таких потоков на практике является пневматический транспорт – перемещение сыпучих материалов воздухом по каналам (трубопроводам). Разработаны и применяются самые различные системы пневматического транспорта. Вследствие изолированности транспортируемого материала от окружающей среды возможности прохождения трассы в самых стесненных условиях современного производства и других достоинств, пневматический транспорт с успехом используется во многих отраслях пищевой промышленности. Пневматическим способом перемещают зерно, муку, сахар, крахмал, комбикорма и другие пищевые сыпучие материалы.

Выбор оборудования пневмотранспортных установок осуществляется на основе гидравлического расчета, основной целью которого является определение действующих сил. При этом силы, имеющие место при движении двухкомпонентного потока, чаще всего, определяют на основе принципа суперпозиции. Для большинства систем и режимов пневмотранспортирования с энергетической точки зрения наиболее значимой является сила взаимодействия аэросмеси со стенкой канала $F_{тр}$. Ее доля в общей сумме действующих сил может превышать 90%. В свою очередь, эту силу считают результирующей двух составляющих – силы взаимодействия со стенкой канала воздуха $F_{тр.в}$ и транспортируемого материала $F_{тр.м}$

$$F_{тр.} = F_{тр.в} + F_{тр.м}. \quad (1)$$

Здесь и далее поток считается одномерным, а все силы приведены к единице объема аэросмеси.

Изучению проблемы силового взаимодействия транспортируемого материала со стенками каналов при движении по ним двухкомпонентных потоков посвящены тысячи работ. Особенно сложной и трудно разрешимой задачей является определение силы взаимодействия, транспортируемого материала со стенкой канала. Для определения этой составляющей силового взаимодействия предложено большое количество зависимостей, полученных, как правило, на основании экспериментальных исследований. Поскольку проведение экспериментальных исследований систем пневмотранспорта связано со значительной трудоемкостью, повторить условия опыта не всегда удается, а диапазон физико-механических свойств транспортируемых материалов достаточно широкий, и их перечень все время пополняется, то полученные по результатам опытов расчетные зависимости можно использовать в узком диапазоне режимов движения аэросмеси и параметров процесса. При этом погрешность результатов расчета достаточно велика (может достигать более 50%). Кроме того, ограниченная область применения расчетных зависимостей не позволяет использовать их для анализа переходных и неуставившихся режимов транспортирования, когда параметры процесса могут изменяться в широких пределах.

Еще в середине прошлого столетия американские ученые А. Zenz и G. F. Otmer в [1] предложили фазовую или, так называемую Р-и диаграмму, позволяющую отслеживать изменение параметров процесса в ши-

роком диапазоне. Однако по предлагаемой диаграмме можно анализировать лишь качественную сторону процесса. Его количественные характеристики, которые необходимы для разработки конкретных систем, определить затруднительно. Кроме того, в разработанной диаграмме имеется разрыв, где считается невозможным осуществление процесса. Вследствие всего этого проектировщики вынуждены в ущерб высоким энергозатратам использовать дополнительные меры, исключая нарушение устойчивости работы систем. Оценивать величину взаимодействия материала со стенками канала в большинстве имеющихся зависимостей (в том числе и в [1]) предлагается по скорости непрерывной среды (воздуха), а не по скорости дискретной фазы – транспортируемого материала. Это не соответствует физической сущности происходящих явлений и может привести к существенным отклонениям от действительности, особенно при описании переходных и неустановившихся процессов. В тоже время результаты исследований, проведенных в последнее время, свидетельствуют об исключительной важности учета переходных и неустановившихся режимов, их влиянии на энергетические показатели системы и устойчивость работы пневмотранспортных установок. В конечном итоге все это приводит к тому, что разработанные системы пневматического транспорта по своим энергетическим показателям существенно уступают механическим устройствам.

Теоретические и экспериментальные исследования [2–6], выполненные в Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова на протяжении продолжительного периода времени, позволили установить, что для оценки устойчивости процесса движения двухкомпонентного потока его нельзя считать стационарным. Переходные и неустановившиеся периоды работы пневмотранспортных установок имеют ключевое значение в вопросе обеспечения устойчивости работы таких систем. Установлено, что движение двухкомпонентного потока при определенных характеристиках оборудования может реализовываться без его нарушения в широком диапазоне изменения параметров (без разрыва в Р-υ диаграмме). По результатам выполненных в [5] исследований установлена двойственная природа силы взаимодействия материала со стенками канала (при небольших скоростях воздуха сила взаимодействия материала со стенкой канала с ростом скорости уменьшается, а при высоких – увеличивается). В [5] предложена, а затем в

[7] уточнена зависимость для определения потерь давления, связанных с внешним силовым взаимодействием. Однако ее дальнейшее практическое применение выявило два недостатка: 1) определять потери давления можно лишь для вертикальных и горизонтальных каналов, тогда как на практике широко применяются и наклонные каналы; 2) из-за несовершенства предложенной зависимости расчет переходных режимов при транспортировании ряда материалов некоторых систем пневмотранспорта (при небольших скоростях материала) выполнить не удавалось.

Для устранения выше названных недостатков, на основании результатов ранее выполненных экспериментальных исследований, промышленных испытаний внедренных систем пневматического транспорта предлагается уточненная зависимость для расчета удельной силы взаимодействия транспортируемого материала со стенками канала

$$F_{TP.M} = \frac{G_m}{S} \left(\frac{a_1 \cos \alpha + a_2}{c + v_m} + b v_m^d \right) \quad , \quad (2)$$

где G_m – массовый расход материала (производительность установки), кг/с; S – площадь поперечного сечения канала (материалопровода), m^2 ; v_m – скорость движения материала, м/с; a_1, a_2, b, c, d – коэффициенты.

Многочисленные литературные источники свидетельствуют, что величина коэффициентов a_1, a_2, b, c, d будет зависеть прежде всего от материала трубопровода, шероховатости его стенок и физико-механических свойств транспортируемого материала, а также пространственного положения материалопровода. Обработка экспериментальных данных по пневмотранспортированию продуктов переработки зерна и комбикормов в широком диапазоне изменения скоростей (от 1 до 20 м/с) в стальном материалопроводе позволила получить их численные значения. С удовлетворительной для расчета пневмотранспортных установок погрешностью (не более 20%) найдены значения входящих в зависимость (2) коэффициентов: $a_1 = 10$; $a_2 = 3$; $b = 0,1$; $c = d = 1$. При этом влияния пространственного положения материалопровода на значения коэффициентов не установлено. Это подтверждается и другими исследованиями, в частности [8]. Однако распространять это утверждение на пневмотранспортирование других материалов было бы преждевременным, поскольку в опытах были использованы материалы с близкими физико-механическими свойствами.

СИЛОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ФАЗ ДВУХКОМПОНЕНТНОГО ПОТОКА СО СТЕНКАМИ КАНАЛА

Следует также заметить, что в практических расчетах определить силу по выражению (2) можно только совместно решая систему алгебраических и дифференциальных уравнений, полученных в [2, 6].

Несмотря на то, что относительная доля сил, вызванная взаимодействием транспортирующей среды – воздуха со стенкой канала во многих случаях небольшая, для некоторых систем пневматического транспорта она является значимой. Особенно существенным может оказаться ее влияние при оценке устойчивости переходных режимов работы (например, пуска системы). В этот период работы потери давления, связанные с взаимодействием воздуха со стенками канала, могут составлять значительную долю в общей сумме потерь давления. Кроме того, эта составляющая потерь давления, как следует из проведенных исследований [9, 10], оказывает стабилизирующее влияние на устойчивость работы системы, и не учитывать ее нельзя. Наиболее известной и широко используемой на практике для определения силы и связанных с ней потерь давления на взаимодействие транспортирующей среды со стенками канала является выражение:

$$F_{тр.в} = \lambda \rho_v v_v^2 / 2D, \quad (3)$$

где v_v – скорость воздуха, м/с; λ – коэффициент аэродинамического сопротивления; D – диаметр материалопровода, м; ρ_v – плотность воздуха, кг/м³.

За скорость воздуха следует принимать ее фактическую величину, найденную с учетом стеснения транспортируемым материалом и его плотности. Поскольку в материалопроводе воздух движется по поровым каналам, а величина коэффициента λ зависит от размера канала, то при расчете следует учитывать концентрацию материала в трубопроводе. Для его определения в [11] предлагается использовать выражение

$$d_k = \frac{(1 - \sigma) \cdot D \cdot d_э}{\frac{3}{2} \sigma \cdot D + d_э}, \quad (4)$$

где D – диаметр материалопровода, м; $d_э$ – эквивалентный диаметр частиц транспортируемого материала, м; σ – объемная концентрация материала в аэросмеси.

Коэффициент аэродинамического сопротивления находится по одной из известных зависимостей, например, как предлагается в [12]

$$\lambda = \frac{1}{(1,75 + 2 \cdot \lg \frac{d_k}{2 \cdot \delta})^2}, \quad (5)$$

где δ – шероховатость внутренней поверхности стенки материалопровода, м; d_k – диаметр канала, м.

Можно также предполагать, что при нестационарных режимах работы системы величины коэффициентов в выражениях (2) и (3) могут отличаться от аналогичных значений в установившихся режимах работы. Однако известные трудности их экспериментального определения с учетом нестационарности движения пока не позволили установить это влияние. В тоже время убедительных сведений о влиянии нестационарности на величину аналогичных коэффициентов авторы не имеют. Общепринято их величины считать такими же, как и в установившихся периоды работы.

Графическая интерпретация выражений (1), (2) и (3) применительно к пневмотранспортной установке муки Новоалтайского хлебокомбината производительностью 0,83 кг/с и длиной материалопровода 145 м приведена на рисунке 1. При этом, поскольку силы и другие параметры процесса изменяются по длине трассы, результаты приведены для участка материалопровода, расположенного в середине трассы. Скорость материала рассчитывалась исходя из того, что при установившемся режиме она отличается от скорости воздуха на величину скорости витания $v_{вит}$ ($v_m \approx v_v - v_{вит}$). Полученные результаты свидетельствуют: 1) о качественном соответствии зависимостей (2, 3) с [1]; 2) наиболее рациональными режимами, при которых объёмная сила взаимодействия компонентов смеси со стенкой канала находится в области минимальных значений, являются скорости материала от 5 до 10 м/с (скорости воздуха от 6 до 11 м/с). Именно в этом же диапазоне для муки в [8, 12] рекомендуется при проектировании принимать значение скорости воздуха. Поскольку энергозатраты пропорциональны не только силе, но и расходу воздуха, с энергетической точки зрения рационально принимать меньшие значения скорости. Однако при этом не следует забывать о сохранении устойчивости процесса, которая с уменьшением скорости снижается; 3) увеличение сил взаимодействия материала со стенкой с уменьшением скорости материала при небольших скоростях воздуха можно объяснить образованием неподвижного (или для вертикальных и наклонных материалопроводов даже движущегося в обратном

направлении) пристенного слоя, механизм образования которого подробнее проанализирован в [13]. Это (образование неподвижного или движущегося в обратном направлении пристенного слоя), в свою очередь, приводит: а) к изменению (увеличению) шероховатости поверхности относительного движения; взаимодействие транспортируемого материала происходит уже не со стенкой канала, а с его неподвижным или движущимся в обратном направлении слоем; б) к уменьшению площади поперечного сечения двухком-

понентного потока, вследствие чего сопротивление движению материала увеличивается; 4) увеличение общей силы взаимодействия компонентов потока со стенкой с ростом скорости в области высоких скоростей происходит как за счет составляющей силы взаимодействия материала (в [14] это доказано экспериментально), а также – за счет составляющей силы взаимодействия воздуха со стенкой, что хорошо известно из специальной литературы.

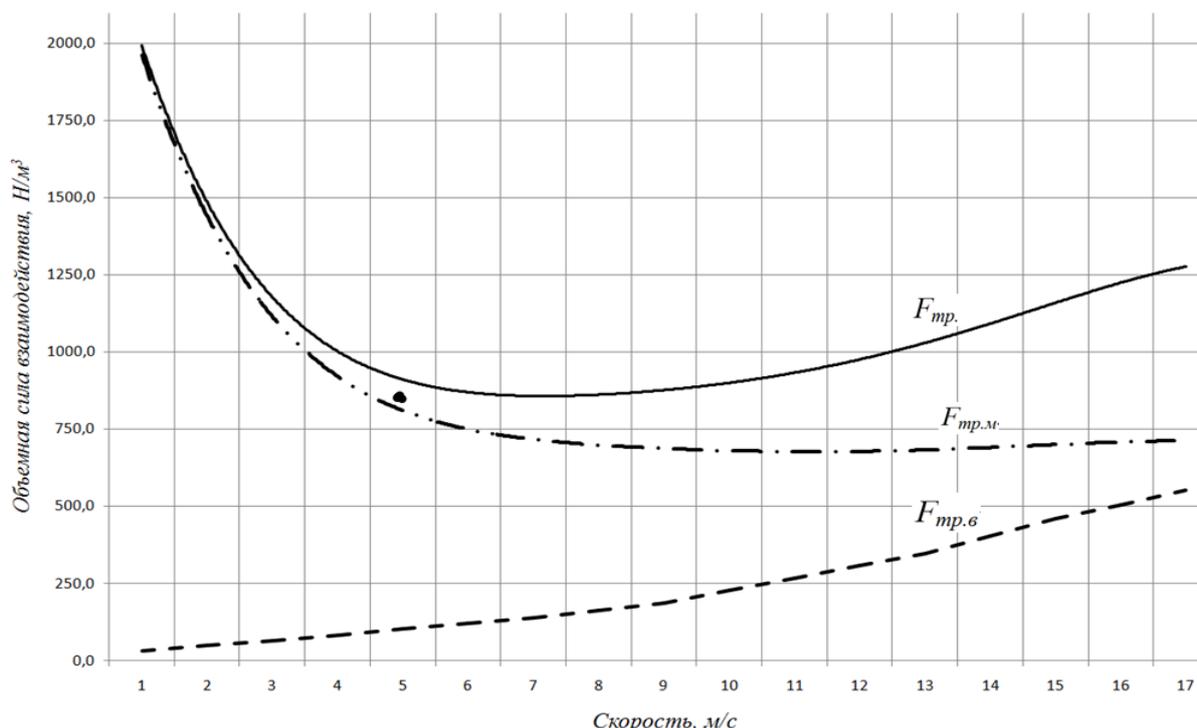


Рисунок 1 – Изменение объемной силы взаимодействия аэросмеси и ее составляющих со стенками материалопровода в зависимости от скорости, * – результат промышленного испытания пневмотранспортной установки Новоалтайского хлебокомбината

Figure 1 – Change in the volumetric force of interaction of the air mixture and its components with the walls of the material pipeline, depending on the speed, * – the result of industrial testing of the pneumatic transport unit of the Novoaltaisk bakery

Расчетные зависимости (1–5) апробированы в НПО «Алтайзернопроект» при проектировании систем пневматического транспорта для зерноперерабатывающих предприятий и показали приемлемые отклонения результатов расчета от фактических (полученных при испытаниях) значений параметров пневмотранспортирования.

Предлагаемые в результате проведенных исследований аналитические зависимости для оценки силового взаимодействия компонентов двухфазного потока в большей степени отражают физическую сущность про-

исходящих явлений. С их помощью возможно в более широком диапазоне отслеживать изменения параметров пневмотранспортирования, определять действующие силы, выбирать рациональные режимы работы пневмотранспортных установок, оценивать устойчивость систем пневмотранспорта.

Результаты выполненного сравнения свидетельствует об удовлетворительном для таких технических систем отклонении и позволяет рекомендовать выражения (2, 3) для практического использования при проектиро-

СИЛОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ФАЗ ДВУХКОМПОНЕНТНОГО ПОТОКА СО СТЕНКАМИ КАНАЛА

вании пневмотранспортных установок продуктов переработки зерна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zenz F.A., Othmer D.F. Fluidization and fluid-particle systems. – New York : Reinhold, 1960. – 513 p.
2. Тарасов В.П. Элементы теории работы однотрубной пневмотранспортной установки // Известия ВУЗов. Пищевая технология. – 2005. – № 5/6. – С. 81–85.
3. Зуев Ф.Г., Коцюба В.П., Тарасов В.П. Совершенствование процесса нагнетающих пневмотранспортных установок // Труды национальной научно-технической конференции «Интенсификация подъемно-транспортных и строительных процессов». – Казанлык, Болгария. – 1988. – С. 12.
4. Разработка пневмотранспортной установки муки потоком высокой концентрации производительностью 10 т/час : отчет о НИР / исполн. : Коцюба В.П., Тарасов В.П. – Барнаул, 1990. – 43 с. – № ГР 01860098832.
5. Тарасов В.П. Совершенствование работы нагнетающих пневмотранспортных установок : дис. ... канд. техн. наук. – М., 1986. – 24 с.
6. Tarasov V.P., Mukhopad K.A. A Theory on Operation of a Single-Tube Pneumatic Conveyer // Teoreticheskie Osnovy Khmicheskoi Tekhnologii. – 2019. – Vol. 53. – № 3. – P. 349–360.
7. Ярославцев Д.Е., Тарасов В.П. Потери давления в материалопроводе при пневмотранспортировании муки // Горизонты образования : научно-образовательный журнал АлтГТУ. – Барнаул. – 2007. – Вып. 9. – URL: <http://edu.secna.ru/media/f/pp2.pdf> (дата обращения: 20.11.2020).
8. Малис А.Я., Касторных М.Г. Пневматический транспорт для сыпучих материалов. – М. : Агропромиздат, 1985. – 344 с.
9. Глебов А.А., Тарасов В.П. Влияние степени задраселированности пневмотранспортной установки на устойчивость процесса пневмотранспортирования // Научно-техническое творчество студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава АлтГТУ, Ч. 2. – Барнаул. – 1996. – С. 203.
10. Тарасов В.П. Устойчивость работы систем пневматического транспорта // Проблемы стабилизации и развития сельскохозяйственного производства Сибири, Казахстана и Монголии в XXI веке. – Новосибирск, 1999. – С. 109–110.
11. Тарасов В.П., Курилов А.Н. Об определении размера канала (эквивалентного диаметра) в двухфазных системах // Современные проблемы техники и технологии пищевых производств: материалы международной научно-практической конференции. – Барнаул. – 2016. – С. 148.
12. Володин Н.П., Касторных М.Г., Кривошеин А.И. Справочник по аспирационным и пневмотранспортным установкам. – М. : Колос, 1984. – 288 с.
13. Тарасов В.П., Лямкин Е.С., Тарасов А.В. Причины появления неустойчивости при работе пневмотранспортных установок // Известия ВУЗов. Пищевая технология. – 2009. – № 4. – С. 87–91.

14. Экспериментальное определение коэффициента внешнего трения муки по стали / Зуев Ф.Г., Коцюба В.П., Соколов А.Я., Тарасов В.П. // Известия ВУЗов. Пищевая технология. – 1982. – № 4. – С. 105–106.

Информация об авторах

В. П. Тарасов – кандидат технических наук, профессор кафедры «Машины и аппараты пищевых производств» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

А. В. Тарасов – кандидат технических наук, доцент кафедры «Машины и аппараты пищевых производств» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

REFERENCES

1. Zenz, F.A. & Othmer, D.F. (1960). *Fluidization and fluid-particle systems*. New York : Reinhold.
2. Tarasov, V.P. (2005). Elements of the theory of operation of a single-tube pneumatic transport installation. *Izvestiya VUZov. Food technology*, (5/6), 81–85. (In Russ.).
3. Zuev, FG, Kotsyuba, V.P. & Tarasov V.P. (1988). Improvement of the process of injection pneumatic transport installations. *Proceedings of the national scientific and technical conference "Intensification of lifting and transport and construction processes"*. Kazanlak, Bulgaria. (P. 12).
4. Kotsyuba, V.P. & V.P. Tarasov. (1990). *Development of a pneumatic conveying plant for flour for high concentration flows with a capacity of 10 t. GR № 01860098832*. Barnaul: ASTU. (In Russ.).
5. Tarasov, V.P. (1986). Improving the work of pumping pneumatic transport installations. *Extended abstract of candidate's thesis*. Moscow. (In Russ.).
6. Tarasov, V.P. & Mukhopad, K.A. (2019). A Theory on Operation of a Single-Tube Pneumatic Conveyer. *Teoreticheskie Osnovy Khmicheskoi Tekhnologii*, 53(3), 349–360.
7. Yaroslavtsev, D.E. & Tarasov, V.P. (2007). Pressure losses in the material pipeline during pneumatic transport of flour. *Education horizons: scientific and educational journal AltSTU*, (9). Retrieved from <http://edu.secna.ru/media/f/pp2.pdf>. (In Russ.).
8. Malis, A.Ya. & Kastornykh, M.G. (1985). *Pneumatic transport for bulk materials*. Moscow: Agropromizdat. (In Russ.).
9. Glebov, A.A. & Tarasov, V.P. (1996). Influence of the degree of throttling of a pneumatic transport installation on the stability of the pneumatic transport process. *Scientific and technical work of students, graduate students and faculty of AltSTU*, (2), (P. 203). (In Russ.).
10. Tarasov, V.P. (1999). Stability of operation of pneumatic transport systems. *Problems of stabilization and development of agricultural production in Siberia, Kazakhstan and Mongolia in the XXI century*. Novosibirsk, (1), 109–110. (In Russ.).

11. Tarasov, V.P. & Kurilov A.N. (2016). On the determination of the channel size (equivalent diameter) in two-phase systems. *Modern problems of technology and technology of food production: materials of the international scientific and practical conference. Barnaul*, (P.148). (In Russ.).

12. Volodin, N.P., Kastornykh, M.G. & Krivoshein, A.I. (1984). Handbook of aspiration and pneumatic transport installations. Moscow: Kolos. (In Russ.).

13. Tarasov, V.P., Lyamkin, E.S. & Tarasov, A.V. (2009). The reasons for the appearance of instability during the operation of pneumatic transport installations. *Izvestiya VUZov. Food technology*. (4), 87–91. (In Russ.).

14. Zuev, F.G., Kotsyuba, V.P., Sokolov, A.Ya. & Tarasov, V.P. (1982). Experimental determination of

the coefficient of external friction of flour on steel. *Izvestiya VUZov. Food technology*, (4), 105–106. (In Russ.).

Information about the authors

V. P. Tarasov – Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Machines and Apparatuses for Food Production, Polzunov Altai State Technical University.

A. V. Tarasov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Machines and Apparatus for Food Production, 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 02.02.2021; одобрена после рецензирования 22.02.2021; принята к публикации 26.02.2021.

The article was received by the editorial board on 02 Feb 21; approved after reviewing on 22 Feb 21; accepted for publication on 26 Feb 21.

Научная статья

05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства (технические науки)

УДК 663.8:664.14

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.007

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАНТОГЕМАТОГЕНА И СУХИХ РАСТИТЕЛЬНЫХ ЭКСТРАКТОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ НАПИТКОВ И САХАРНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Елена Юрьевна Егорова ¹, Александра Сергеевна Захарова ²,
Светлана Сергеевна Кузьмина ³

^{1,2,3} Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

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

² zakharovatpz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0962-4912>

³ svetlana.politeh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0302-867X>

Аннотация. Использование сухих продуктов пантового мараловодства и растительных экстрактов для разработки новых обогащенных и функциональных продуктов является одним из современных трендов развития пищевой промышленности. Однако ценные компоненты такого сырья сохраняют свою биологическую активность только в условиях производства некоторых видов безалкогольных напитков и кондитерских изделий. Целью работы являлась оценка эффективности использования пантогематогена и сухих растительных экстрактов в производстве напитков (квасов брожения) и сахарных кондитерских изделий (на примере желейного мармелада). Показано, что введение сухих растительных экстрактов в купаж квасов перед стадией брожения, как и внесение сухих растительных экстрактов в сочетании с сухим пантогематогеном в желейную массу, дает возможность получения продукции стандартного качества с оригинальными органолептическими характеристиками и повышенной пищевой ценностью. Квасы с введением 6 % экстрактов ягод малины, плодов черной смородины и облепихи по содержанию растворимых сухих веществ, кислотности и накопленному спирту соответствуют нормативным документам и способны удовлетворить от 10–15 % физиологической потребности взрослых до 15–45 % физиологической потребности детей в витамине С. При введении экстракта листьев брусники в состав желейной массы в сочетании с пантогематогеном полученный формовой желейный мармелад характеризуется более высоким содержанием калия, кальция, магния, марганца и железа, в нем появляются витамин С, арбутин и флавоноиды – вещества с выраженной биологической активностью.

Ключевые слова: пищевые технологии, сахарные кондитерские изделия, мармелад, напитки, квасы, продукты пантового мараловодства, плодово-ягодные экстракты, сухие экстракты, пищевая ценность, биологически активные вещества.

Для цитирования: Егорова Е. Ю., Захарова А. С., Кузьмина С. С. Использование пантогематогена и сухих растительных экстрактов в производстве напитков и сахарных кондитерских изделий // Ползуновский вестник. 2021. № 1. С. 51–58. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.007

Original article

USE OF PANTOHEMATOGEN AND DRY PLANT EXTRACTS IN THE PRODUCTION OF BEVERAGE AND SUGAR CONFECTIONERY PRODUCTS

Elena Yu. Egorova¹, Alexandra S. Zakharova², Svetlana S. Kuzmina³

^{1,2,3} Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

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

² zakharovatpz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0962-4912>

³ svetlana.politeh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0302-867X>

Abstract. *The use of dry products of antler maral breeding and plant extracts for the development of new enriched and functional products is one of the current trends in the development of the food industry. However, the valuable components of such raw materials retain their biological activity only in the production of certain types of soft drinks and confectionery. The aim of the paper was to evaluate the effectiveness of the use of pantoheMATOgen and dry plant extracts in the production of beverages (kvass) and sugar confectionery (jelly shaped marmalade). It is shown that the introduction of dry plant extracts into the kvass blend before the fermentation stage, as well as the introduction of dry plant extracts in combination with dry pantoheMATOgen into the jelly mass, makes it possible to obtain products of standard quality with original organoleptic characteristics and increased nutritional value. Kvass with the introduction of 6 % extracts of raspberry, black currant fruits and sea buckthorn in the content of soluble solids, acidity and accumulated alcohol comply with regulatory documents and are able to meet from 10–15 % of the physiological needs of adults to 15–45 % of the physiological needs of children in vitamin C. When the extract of lingonberry leaves is introduced into the jelly mass in combination with pantoheMATOgen, the resulting molded jelly marmalade is characterized by a higher content of potassium, calcium, magnesium, manganese and iron, it contains vitamin C, arbutin and flavonoids – substances with pronounced biological activity.*

Keywords: *food technologies, sugar confectionery, marmalade, beverages, kvass, products of antler maral breeding, fruit and berry extracts, dry extracts, nutritional value, biologically active substances.*

For citation: Egorova, E.Yu., Zakharova, A.S. & Kuzmina, S.S. (2021). Use of pantoheMATOgen and dry plant extracts in the production of beverage and sugar confectionery products. *Polzunovskiy vestnik*, 1, 51-58. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.007

Современные пищевые производства ориентированы на расширение ассортимента продукции путем внедрения оригинальных продуктов питания, выделяющихся в общем ассортименте повышенной пищевой ценностью, в т. ч. наличием специфических биологически активных веществ.

Из-за сезонности, плохой сохраняемости и относительной дороговизны свежего биологически ценного растительного и животного сырья многие предприятия предпочитают работать с продуктами его переработки: настоями, экстрактами и т. п. [1–4].

Использование сухих экстрактов – один из современных трендов, имеющих целый ряд преимуществ в аспекте промышленного производства. Транспортирование и хранение таких экстрактов – наименее затратно, а

применяемые технологии вакуумно-импульсной и вакуумно-микроволновой сушки позволяют получать не окисленные, мелкодисперсные, легко восстанавливающиеся даже в холодной воде порошки, сохраняющие характерные цвет (рисунок 1), вкус и аромат и, в отличие от экстрактов сублимационной сушки, характеризующиеся высоким качеством при относительно низкой себестоимости [5–8].

Основным условием эффективности вакуумно-импульсной и вакуумно-микроволновой сушки является поддержание необходимой глубины вакуума [9]. При соблюдении данного условия экстракты растительного сырья сохраняют до 70 % биологически активных веществ исходного сырья и более (таблица 1). Использование экстрактов с та-

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАНТОГЕМАТОГЕНА И СУХИХ РАСТИТЕЛЬНЫХ ЭКСТРАКТОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ НАПИТКОВ И САХАРНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

кими органолептическими характеристиками и ценным составом биологически активных веществ целесообразно при переработке лишь в очень щадящих условиях, к которым можно отнести технологии производства не-

которых видов безалкогольных напитков и кондитерских изделий – таких, как пастильно-мarmеладная продукция, сахарное драже, не подверженные существенному нагреву корпуса и начинки.



а) б) в)
Рисунок 1 – Сухие плодово-ягодные экстракты:
а) плодов облепихи б) ягод малины в) ягод чёрной смородины

Figure 1 – Dry fruit and berry extracts:
а) sea buckthorn fruits б) raspberries в) black currant berries

Таблица 1 – Содержание характерных биологически активных веществ в некоторых видах сухих растительных экстрактов, полученных вакуумно-импульсной сушкой

Table 1 – The content of characteristic biologically active substances in some types of dry plant extracts obtained by vacuum-pulse drying

Вид экстракта	Группа БАВ	Вид БАВ	Содержание, %
Экстракт плодов шиповника	Витамины	Аскорбиновая кислота	2,5–6,5
Экстракт плодов черники	Фенольные соединения	Антоцианы	0,5–1,0
Экстракт листьев брусники	Фенольные соединения	Дубильные вещества	30–35
	Фенольные соединения	Арбутин	4,5–5,5
Экстракт листа бадана	Фенольные соединения	Дубильные вещества	25–30
Экстракт корня женьшеня	Тритерпеноиды	Гинзенозиды	10–12
Экстракт травы душицы	Фенольные соединения	Дубильные вещества	12–15
Экстракт травы зверобоя	Фенольные соединения	Флавоноиды	2,5–3,5
Экстракт травы тысячелистника	Фенольные соединения	Флавоноиды	2,5–3,5
Экстракт корня родиолы розовой	Фенольные соединения	Салидрозид	2,0–2,5
Экстракт корня солодки	Тритерпеноиды	Глицирризиновая кислота	20–25
Экстракт (гриба) чаги	Фенольные соединения	Хромогенный комплекс	30–50

Многие из получаемых вакуумно-импульсной сушкой растительных экстрактов являются естественным источником биологически активных веществ-адаптогенов [10]. Сухие продукты пантового мараловодства – пантогематоген (сухая дефибринированная кровь) и пантокрин (экстракт пантов) – представляют собой мелкодисперсные порошки светло-коричневого или красновато-коричневого цвета со специфическим запахом крови и привкусом гемового железа. Они хорошо восстанавливаются в воде и водно-спиртовых растворах и синергетически сочетаются по проявляемому действию со многими биологически активными компонентами растительного сырья, позволяя повысить пищевую ценность и усилить адаптогенные и иные

функциональные свойства новых продуктов [11–13].

Целью настоящей работы являлась оценка эффективности использования пантогематогена и сухих растительных экстрактов в производстве напитков и сахарных кондитерских изделий.

Целесообразность использования сухих экстрактов в производстве напитков оценивали на примере технологии квасов брожения, как одной из наиболее популярных у населения групп тонизирующих напитков.

В производстве напитков растительное сырье рассматривается как естественный источник компонентов, определяющих, прежде всего, вкусо-ароматические характеристики готовой продукции [14]. Поэтому при раз-

работке квасов брожения в качестве объектов исследования рассмотрены сухие экстракты с принципиально различающимися органолептическими характеристиками – ягод малины, плодов черной смородины и облепихи.

Кроме органолептических свойств, малина и черная смородина являются источниками флавоноидов, антоцианов и аскорбиновой кислоты [15, 16]. Облепиха – источник разнообразных каротиноидов и стероидов [17]. Данные виды сырья богаты также такими специфическими компонентами антиоксидантного, тонизирующего и противовоспалительного действия, как присутствующие в составе всех трех видов экстрактов фенолоксилоты (салициловая, хлорогеновая, кофейная и другие), оротовая и янтарная кислоты и ресвератрол, с содержанием которых связывают биологическую активность продуктов переработки ягод малины [15], витамин К и хинная кислота облепихи [17]. Поскольку растворимость пантогематогена в кислой среде существенно снижается, его в квасах не использовали.

Квасы готовили по технологии, предусматривающей использование концентрата квасного сусла (производство ООО «Русквас»), в две стадии: сбраживание квасного сусла и купажирование. Сухие экстракты вводили на стадии приготовления квасного сусла (до начала его брожения), в дозировке от 2 до 8 % (с шагом 2 %).

По окончании брожения и после отделения осадка дрожжей квас фильтровали и подвергали лабораторному анализу. Пастеризацию и карбонизацию экспериментальных образцов не проводили.

Оценку приготовленных квасов вели на соответствие требованиям ГОСТ 31494–2012

«Квасы. Общие технические условия». Органолептические показатели оценивали по ГОСТ 6687.5–86, массовую долю растворимых сухих веществ определяли по ГОСТ 6687.2–90, кислотность – по ГОСТ 6687.4–86, объёмную долю этилового спирта – по ГОСТ Р 51653–2000. Содержание витамина С в квасах определяли титриметрически, по ГОСТ 24556–89. Сумму полифенольных веществ определяли методом Фолина–Чокальтеу.

Следует отметить, что с введением сухих плодово-ягодных экстрактов квасы приобрели характерный оттенок (рисунок 2). Все образцы напитков имели приятные кисло-фруктовый вкус и плодовой аромат. Самые высокие оценки получили квасы с добавлением экстрактов облепихи и черной смородины, за более выраженные, оригинальные и приятные вкус и аромат. Согласно результатам дегустационной оценки, в состав квасного сусла рекомендуется добавлять не более 6 % экстракта, именно при этом условии квасы «раскрывают свой вкус».

По содержанию растворимых сухих веществ, кислотности и накопленному спирту квасы с 6 % экстрактов удовлетворяли стандартным требованиям к квасам брожения, характеризуясь при этом достаточно высоким содержанием аскорбиновой кислоты и полифенольных веществ (таблица 2).

Согласно данным лабораторных исследований, в витамине С квасы с экстрактами облепихи и смородины способны удовлетворить от 10–15 % физиологической потребности взрослых до 15–45 % физиологической потребности в этом витамине у детей разных возрастных групп.

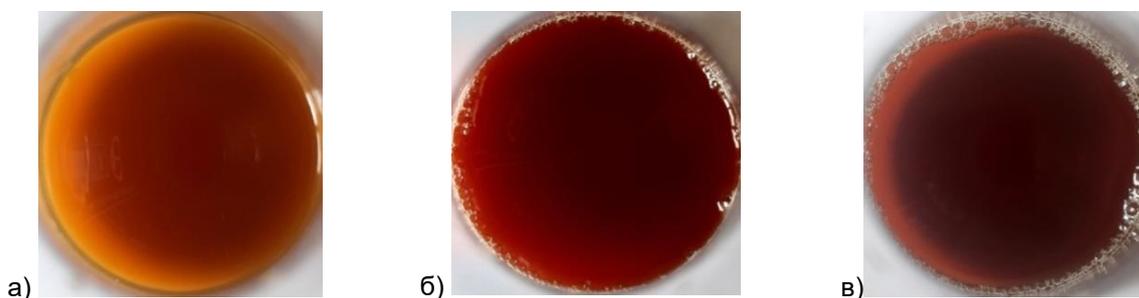


Рисунок 2 – Квасы с добавлением 6 % плодово-ягодных экстрактов: а) плодов облепихи б) ягод малины в) ягод чёрной смородины

Picture 2 – Kvass with the addition of 6 % fruit and berry extracts: а) sea buckthorn fruits б) raspberries в) black currant berries

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАНТОГЕМАТОГЕНА И СУХИХ РАСТИТЕЛЬНЫХ ЭКСТРАКТОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ НАПИТКОВ И САХАРНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Таблица 2 – Зависимость содержания в квасах сухих веществ и титруемых кислот от вида и дозировки плодово-ягодных экстрактов

Table 2 – Dependence of the content of dry substances and titratable acids in kvass on the type and dosage of fruit and berry extracts

Показатель	Значение показателя / Добавление экстракта			
	без экстракта	малины	облепихи	смородины
Массовая доля сухих веществ, %	8,2	8,45	8,45	8,4
Кислотность, к. ед.	2,8	3,2	3,3	3,2
Объемная доля спирта, % об.	0,45	0,5	0,4	0,5
Углеводы, г/100 мл	5,2	6,0	5,3	5,8
Сумма полифенольных веществ, мг/100 мл	42,6	58,7	47,7	66,2
Витамин С, мг/100 г	менее 0,1	2,7	6,9	4,6

Следовательно, добавление сухих плодово-ягодных экстрактов к купажу кваса перед брожением дает возможность получения напитков стандартного качества с оригинальными органолептическими характеристиками и повышенной пищевой ценностью.

Для оценки эффективности использования сухих растительных экстрактов в производстве сахарных кондитерских изделий выбрана технология приготовления формового мармелада. Поскольку мармелад имеет желейную структуру, препятствующую отслоению белково-пектиновых и белково-минеральных соединений, формирующих осадок в напитках, рассмотрена возможность внесения в мармелад сухого экстракта листьев брусники – в качестве источника витамина С, арбутина, дубильных веществ и флавоноидов [18] – в сочетании с сухим пантогематогеном.

Из экстракта листьев брусники готовили 0,25 % раствор, который использовали в качестве водной основы мармеладной массы (заменяли 25 %, 50 %, 75 %, 100 % воды, идущей на приготовление мармелада). В начале стадии охлаждения агаро-сахаропаточного сиропа (желейной массы) в него вносили концентрированный раствор пантогематогена (в расчёте 0,5 % к желейной массе влажностью 25–27 %). Других изменений в технологию не вносили. В качестве контрольного образца использовали желейный мармелад без экстракта и пантогематогена.

Оценку приготовленных образцов желейного мармелада проводили на соответствие требованиям ГОСТ 6442–2014 «Мар-

мелад. Общие технические условия». Органолептические показатели оценивали по ГОСТ 5897, массовую долю влаги – по ГОСТ 5900, массовую долю не растворимой золы – по ГОСТ 5901. Дополнительно определяли кислотность, по ГОСТ 5898.

С введением экстракта и пантогематогена образцы мармелада приобретали темный оттенок, более выраженный при внесении большего количества экстракта (рисунок 3). Внесение биологически активного сырья не оказывало влияния на форму, поверхность, консистенцию и запах готовой продукции, однако при замене на экстракт 50–100 % рецептурного количества воды у изделий появлялся легкий привкус горечи, свойственный экстракту листьев брусники.

Самые высокие оценки дегустаторов получил мармелад с заменой на экстракт листьев брусники 50 % воды: за гармонично выраженные вкус и аромат. Внесение большего количества экстракта признано нецелесообразным, поскольку придавало мармеладу горьковатый привкус листьев брусники, ухудшая потребительские достоинства продукта.

Использование экстракта листьев брусники закономерно способствовало некоторому снижению массовой доли влаги мармелада и повышению его титруемой кислотности за счет повышенного содержания в экстракте органических кислот (таких, как галловая, винная, хинная), однако не оказало влияния на массовую долю нерастворимой золы, значение которой осталось на уровне контрольного образца (таблица 3).

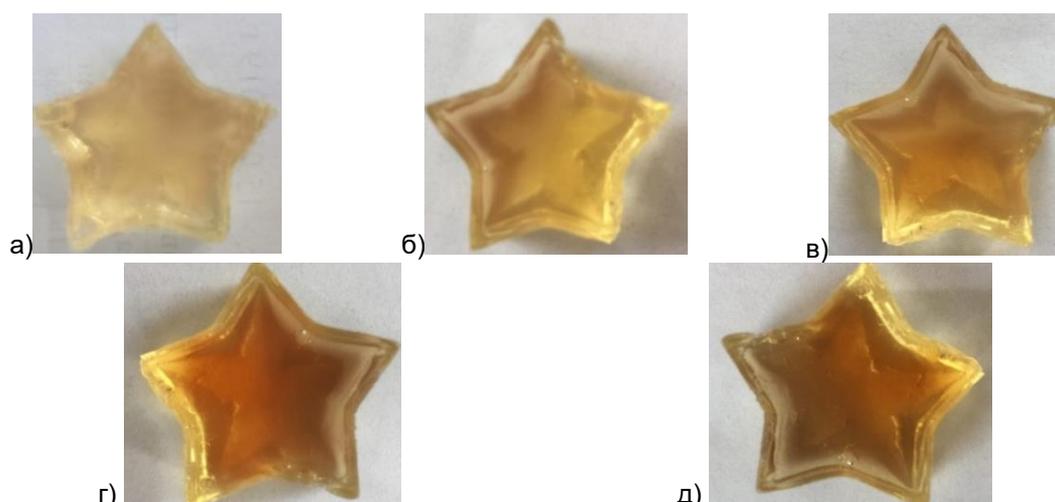


Рисунок 3 – Мармелад с добавлением экстракта листьев брусники:
 а) 0 % замены воды б) 25 % замены воды в) 50 % замены воды г) 75 % замены воды
 д) 100 % замены воды

Figure 3 – Fruit jelly with the addition of lingonberry leaf extract:
 а) 0 % water change б) 25 % water change в) 50 % water change г) 75 % water change
 д) 100 % water replacement

Таблица 3 – Зависимость физико-химических показателей мармелада от дозировки экстракта листьев брусники

Table 3 – Dependence of the physicochemical parameters of marmalade on the dosage of the extract of lingonberry leaves

Показатель	Значение показателя / Дозировка экстракта, вместо рецептурного количества воды				
	0 %	25 %	50 %	75 %	100 %
Массовая доля влаги, %	19,0	18,9	18,7	18,4	18,2
Общая кислотность, град	16,0	17,0	18,0	19,0	21,0
Массовая доля золы, не растворимой в 10 % растворе HCl, %	Менее 0,05				

Лучшим вариантом по результатам исследований признан мармелад с заменой на 0,25 % экстракт листьев брусники 50 % воды, идущей на приготовление мармеладной массы. Именно этот образец получил наибольшее количество баллов при дегустации и имел показатели качества, соответствующие требованиям ГОСТ 6442–2014. Согласно данным расчета пищевой ценности, этот вариант мармелада характеризуется более высоким содержанием калия, кальция, магния, марганца и железа (в т. ч. благодаря присутствию гемового железа пантогематогена) по сравнению с мармеладом без введения биологически активного сырья.

Использование экстракта листьев брусники способствовало также появлению в мармеладе витамина С, арбутина и флавоноидов – веществ, имеющих выраженную биологическую активность.

Таким образом, введение сухих растительных экстрактов в купаж квасов перед стадией брожения, как и внесение сухих растительных экстрактов в сочетании с сухим пантогематогеном в мармеладную массу, является целесообразным и дает возможность получения продукции стандартного качества с оригинальными органолептическими характеристиками и повышенной пищевой ценностью.

Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки РФ (мнемокод 0611-2020-013; номер темы FZMM-2020-0013, ГЗ № 075-00316-20-01).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Санжаровская, Н.С. Технология производства желеиног мармелада на основе пектиновых экстрактов и фитонастоев / Н.С. Санжаровская, О.П. Храпко // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 10–3 (64). – С. 95–98.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАНТОГЕМАТОГЕНА И СУХИХ РАСТИТЕЛЬНЫХ ЭКСТРАКТОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ НАПИТКОВ И САХАРНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

2. Раскина, С.И. Разработка рецептуры мармелада с экстрактом калины обыкновенной / С.И. Раскина, О.В. Нестерова, Н.В. Бирюкова, С.В. Кондрашев // Медицинское образование и ВУЗовская наука. – 2018. – № 3–4. – С. 118–120.

3. Перфилова, О.В. Разработка нового ассортимента зефира с использованием вторичного сырья сокового производства / О.В. Перфилова, К.С. Полякова, О.Г. Вахрушева, И.В. Ширяева // Наука и образование. – 2018. – Т. 1. – № 1. – С. 55.

4. Табаторович, А.Н. Анализ химического состава пюре из калины и перспективы его применения в производстве сахаристых кондитерских изделий / А.Н. Табаторович, З.Р. Сайфулина, Е.Н. Степанова // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2019. – № 4 (57). – С. 53–59.

5. Wang, J. Pulsed vacuum drying of Chinese ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) slices: effects on drying characteristics, rehydration ratio, water holding capacity, and microstructure / J. Wang, T.-Y. Bai, D. Wang, show all // *Drying Technology*. – 2019. – V. 37. – Iss. 3. – P. 301–311, DOI: 10.1080/07373937.2017.1423325.

6. Xie, L. Pulsed vacuum drying (PVD) of wolfberry: Drying kinetics and quality attributes / L. Xie, Z.-A. Zheng, A.S. Mujumdar, show all // *Drying Technology*. – 2018. – V. 36. – Iss. 12. – P. 1501–1514, doi.org/10.1080/07373937.2017.1414055.

7. Monteiro, R.L. Microwave vacuum drying of foods with temperature control by power modulation / R.L. Monteiro, A.I. Gomide, J.V. Link, B.A.M. Carciofi, J.B. Laurindo // *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. – 2020. – V. 65,102473, DOI: 10.1016/j.ifset.2020.102473.

8. Swamy, G.J. § 1.46.6.3.2. Microwave vacuum drying / G.J. Swamy, K. Muthukumarappan // *Innovative Food Processing Technologies. A Comprehensive Review*. – 2021. – P. 731–742. – <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815781-7.00010-X>.

9. Скрипников, Ю.Г. Инновационные технологии сушки растительного сырья / Ю.Г. Скрипников, М.А. Митрохин, Ю.В. Родионов, А.С. Зорин, Е.П. Ларионова // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2012. – № 3 (41). – С. 371–376.

10. Gulati, K. Nutraceuticals as adaptogens: their role in health and disease / K. Gulati, R. Anand, A. Ray // *Nutraceuticals Efficacy, Safety and Toxicity*. – 2016. – Chapter 16. – P. 193–205. – <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802147-7.00016-4>.

11. Смирнов, Е.И. Сироп «Пантгем» – перспективный компонент алкогольных и безалкогольных напитков / Е.И. Смирнов, В.В. Будаева, Е.Ю. Егорова // Ликероводочное производство и виноделие. – 2004. – № 12. – С. 10–11.

12. Будаева, В.В. Технология производства безалкогольных бальзамов / В.В. Будаева, Е.Ю. Егорова, М.Н. Школьникова // Пиво и напитки. – 2006. – № 1. – С. 40–42.

13. Латков, Н.Ю. Научно-практические аспекты разработки, оценки качества и эффективности продуктов спортивного питания: автореф. дисс. ...

д-ра техн. наук: 05.18.15 / Н.Ю. Латков. – Екатеринбург, 2021. – 38 с.

14. Егорова, Е.Ю. Методические подходы к разработке и оценке качества новых напитков группы «Дистилляты». Часть 2. Выбор сырья / Е.Ю. Егорова, Ю.В. Мороженко // *Ползуновский вестник*. – 2018. – № 2. – С. 17–21, DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2018.02.004.

15. Причко, Т.Г. Биохимические показатели качества ягод малины с учетом сортовых особенностей / Т.Г. Причко, Т.Л. Смелик, Л.А. Хилько // *Плодоводство и ягодоводство России*. – 2017. – Т. 48. – № 2. – С. 242–247.

16. Orsavova, J. Contribution of phenolic compounds, ascorbic acid and vitamin E to antioxidant activity of currant (*Ribes L.*) and gooseberry (*Ribes-va-crispa L.*) fruits / J. Orsavova, I. Hlaváčová, J. Mlcek, L. Snopek, L. Mišurcová // *Food Chemistry*. – 2019. – V. 284. – P. 323–333, DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.01.072.

17. Bal, L.M. Sea buckthorn berries: A potential source of valuable nutrients for nutraceuticals and cosmoceuticals / L.M. Bal, V. Meda, S.N. Naik, S. Satya // *Food Research International*. – 2011. – V. 44 (7). – P. 1718–1727.

18. Школьникова, М.Н. Товароведно-технологическая характеристика растительного сырья, используемого в производстве бальзамов и БАД / М.Н. Школьникова, Е.Ю. Егорова. – Бийск : Изд-во АлтГТУ, 2009. – 160 с.

Информация об авторах

Е. Ю. Егорова – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология хранения и переработки зерна» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

А. С. Захарова – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология хранения и переработки зерна» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

С. С. Кузьмина – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология хранения и переработки зерна» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

REFERENCES

1. Sanzharovskaya, N.S. & Khrapko, O. P. (2017). Technology of production of jelly marmalade based on pectin extracts and phytonastoyev. *International research journal*, 10–3 (64). – S. 95–98. (In Russ.).

2. Raskina, S.I., Nesterova, O.V., Biryukova, N.V. & Kondrashev, S.V. (2018). Formulation development of marmalade with an extract of viburnum ordinary. *Medical education and University science*, (3–4), 118–120. (In Russ.).

3. Perfilova, O.V., Polyakova, K.S., Vakhrusheva, O.G. & Shiryaeva I.V. (2018). Devel-

opment of a new assortment of marshmallows using secondary raw materials for juice production. *Science and Education*, 1(1), (P.55). (In Russ.).

4. Tabatorovich, A.N., Sayfulina, Z.R. & Stepanova, E.N. (2019). Analysis of the chemical composition of guelder-rose puree and the prospects for its application in the production of sugary confectionery. *Technology and commodity research of innovative food products*, 4 (57), 53–59. (In Russ.).

5. Jun Wang, Tian-Yu Bai, Dong Wang, Xiao-Ming Fang, Ling-Yang Xue, Zhi-An Zheng, Zhen-Jiang Gao & Hong-Wei Xiao. (2019). Pulsed vacuum drying of Chinese ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) slices: effects on drying characteristics, rehydration ratio, water holding capacity, and microstructure. *Drying Technology*. 37 (3), 301–311. DOI: 10.1080/07373937.2017.1423325. (In Russ.).

6. Long Xie, Zhi-An Zheng, A. S. Mujumdar, Xiao-Ming Fang, Jun Wang, Qian Zhang, Hong-Wei Xiao, Yan-Hong Liu & Zhen-Jiang Gao. (2018). Pulsed vacuum drying (PVD) of wolf-berry: Drying kinetics and quality attributes. *Drying Technology*, 36 (12), 1501–1514, doi.org/10.1080/07373937.2017.1414055.

7. Monteiro, R.L., Gomide, A.I., Link, J.V., Carciofi, B. A.M. & Laurindo J.B. (2020). Microwave vacuum drying of foods with temperature control by power modulation. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, (65), (65.102473), doi: 10.1016/j.ifset.2020.102473.

8. Swamy, G.J. Swamy, G.J. & Muthukumarapan K. (2021). § 1.46.6.3.2 Microwave vacuum drying. *In Innovative Food Processing Technologies. A Comprehensive Review*. (P. 731–742). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815781-7.00010-X>.

9. Skripnikov, Yu.G., Mitrokhin, M.A., Rodionov, Yu.V., Zorin, A.S. & Larionov E.P. (2012). Innovative technologies for drying vegetable raw materials. *Problems of Contemporary Science and Practice Vernadsky University*, 3 (41), 371–376. (In Russ.).

10. Gulati, K., Anand, R. & Ray, A. (2016). Nutraceuticals as adaptogens: their role in health and disease. *Nutraceuticals Efficacy, Safety and Toxicity*. (16), 193–205. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802147-7.00016-4>.

11. Smirnov, E.I., Budaeva, V.V. & Egorova E.Yu. (2004). Syrup "Panthem" is a promising component of alcoholic and non-alcoholic beverages. *Distillery production and winemaking*, (12), 10–11. (In Russ.).

12. Budaeva, V.V., Egorova, E.Yu. & Shkolnikova M.N. (2006). Production technology of non-

alcoholic balsams. *Beer and drinks*, (1), 40–42. (In Russ.).

13. Latkov, N.Yu. (2021). Scientific and practical aspects of the development, assessment of the quality and effectiveness of sports nutrition products. Extended abstract of Doctors thesis. Ekaterinburg. (In Russ.).

14. Egorova, E.Yu. & Morozhenko Yu.V. (2018). Methodological approaches to the development and quality assessment of new drinks of the "Distillates" group. Part 2. Selection of raw materials. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 17–21. DOI: 10.25712/AS-TU.2072-8921.2018.02.004.

15. Prichko, T.G., Smelik, T.L. & Khilko, L.A. (2017). Biochemical indicators of the quality of raspberry berries taking into account varietal characteristics. *Fruit and berry growing in Russia*, 48(2), 242–247. (In Russ.).

16. Orsavova, J., Hlaváčová, I., Mlcek, J., Snopek, L. & Mišurcová L. (2019). Contribution of phenolic compounds, ascorbic acid and vitamin E to antioxidant activity of currant (*Ribes L.*) and gooseberry (*Ribesuva-crispa L.*) fruits. *Food Chemistry*, (284), 323–333, DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.01.072.

17. Bal, L.M., Meda, V., Naik, S.N. & Satya, S. (2011). Sea buckthorn berries: A potential source of valuable nutrients for nutraceuticals and cosmeceuticals. *Food Research International*, 44 (7), 1718–1727.

18. Shkolnikova, M.N. & Egorova, E.Yu. (2009). *Commodity research and technological characteristics of plant raw materials used in the production of balsams and dietary supplements*. Biysk : AltSTU Publishing House. (In Russ.).

Information about the authors

E. Yu. Egorova – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of "Technology of storage and processing of grain" of the Polzunov Altai State Technical University.

A. S. Zakharova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Grain Storage and Processing Technology, Polzunov Altai State Technical University.

S. S. Kuzmina – 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 26.01.2021; одобрена после рецензирования 12.02.2021; принята к публикации 17.02.2021.

The article was received by the editorial board on 26 Jan 21; approved after reviewing on 12 Feb 21; accepted for publication on 17 Feb 21.

Научная статья

05.18.04 – Технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств (технические науки)
УДК 664

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.008

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА МОЛОКА И МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ, В ТОМ ЧИСЛЕ ДЛЯ ДЕТСКОГО ПИТАНИЯ

Елена Анатольевна Лейтес¹, Людмила Сергеевна Егорова²,
Сергей Васильевич Темерев³

^{1,2,3} Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия

¹ leites-elena@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0002-8620>

² egorova@chem.asu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9937-4381>

³ temerev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9964-3329>

Аннотация. Производство молока и молочной продукции стало одной из важнейших отраслей сельхозпроизводства, однако не все молочные продукты имеют одинаковый состав и являются одинаково полезными для здоровья. В то же время возрастающее значение молока и молочных продуктов как полноценных продуктов питания привело к увеличению спроса на эти продукты. Цель данной работы – провести анализ показателей качества молока и молочных продуктов, в том числе для детского питания и выявить соответствие этих образцов органолептическим требованиям и физико-химическим показателям. В качестве объектов исследования выбраны молочные продукты, в том числе для детского питания, разных производителей, приобретенные в торговых точках г. Барнаула. Оценены такие показатели, как кислотность молока, плотность, содержание кальция, магния, лактозы, жира, сухого обезжиренного молочного остатка, органолептические показатели.

Ключевые слова: молоко, молочная продукция, детское питание, органолептические показатели молока, физико-химические показатели, кислотность молока, плотность, содержание кальция, магния, лактозы, жира, сухого обезжиренного молочного остатка.

Для цитирования: Лейтес Е.А., Егорова Л.С., Темерев С.В. Анализ показателей качества молока и молочных продуктов, в том числе для детского питания / // Ползуновский вестник. 2021. № 1. С. 59-65. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.008.

Original article

ANALYSIS OF QUALITY INDICATORS OF MILK AND DAIRY PRODUCTS, INCLUDING BABY FOOD

Elena A. Leites¹, Lyudmila S. Egorova², Sergey V. Temerev³

^{1,2,3} Altai State University, Barnaul, Russia

¹ leites-elena@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0002-8620>

² egorova@chem.asu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9937-4381>

³ temerev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9964-3329>

Abstract. The production of milk and dairy products has become one of the most important branches of agricultural production, but not all dairy products have the same composition and are equally beneficial to health. At the same time, the growing importance of milk and dairy products as complete food products has led to an increase in demand for these products. The purpose of this work

©Лейтес Е.А., Егорова Л.С., Темерев С.В., 2021

is to analyze the quality indicators of milk and dairy products, including for baby food, and to identify the compliance of these samples with organoleptic requirements and physicochemical indicators. Dairy products, including those for baby food, from different manufacturers, purchased at retail outlets in the city of Barnaul, were selected as objects of research. Indicators such as acidity of milk, density, content of calcium, magnesium, lactose, fat, dry non-fat milk residue, organoleptic indicators were evaluated.

Keywords: *milk, dairy products, baby food, organoleptic characteristics of milk, physicochemical indicators, acidity of milk, density, content of calcium, magnesium, lactose, fat, skimmed milk solids.*

For citation: Leites, E.A., Egorova, L.S. & Temerev, S.V. (2021). Analysis of quality indicators of milk and dairy products, including baby food. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 59-65. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.008.

Введение

Возрастающее значение молока и молочных продуктов как полноценных продуктов питания привело к увеличению спроса на эти продукты. Их производство стало одной из важнейших отраслей сельхозпроизводства, однако не все молочные продукты имеют одинаковый состав и являются одинаково полезными для здоровья. Современные производители стремятся к тому, чтобы на столах потребителей оказался продукт не только безопасный, но и полезный [1]. Одно из наиболее отличительных и важных свойств молока как продукта питания – его высокая биологическая ценность и усвояемость, благодаря наличию полноценных белков, молочного жира, минеральных веществ, микроэлементов и витаминов [2]. Важнейшими факторами, формирующими качество продуктов детского питания, являются собственно сырье, его химический состав и особенности технологии производства. На российском рынке известны бренды детского питания, выпускающие продукты на молочной основе: «Модест», «Агуша», «Тёма», «Простоквашино», «Растишка», «Малютка» и другие.

К основным физико-химическим показателям продуктов на молочной основе относятся такие, как кислотность, плотность, содержание белков, лактозы, массовая доля жира и другие.

Цель данной работы: провести анализ показателей качества молока и молочных продуктов, в том числе для детского питания, и выявить соответствие этих образцов органолептическим требованиям и физико-химическим показателям.

Экспериментальная часть

В качестве объектов исследования выбраны молочные продукты разных производителей, приобретенные в торговых точках г. Барнаула. Показатели пищевой ценности

продуктов на молочной основе нормируются в соответствующих ГОСТах.

Органолептические показатели. При органолептической оценке качества молока питьевого определяют внешний вид, консистенцию, вкус, запах и цвет. При оценке внешнего вида молока обращают внимание на его однородность и отсутствие осадка. В восстановленном молоке допускается наличие незначительного осадка. На поверхности пастеризованного молока не должно быть плотных жировых шариков. При взбалтывании молока скопившийся на поверхности жир должен легко распределяться в нем. В молоке повышенной жирности не должно быть отстоя сливок.

О свежести молока можно судить по отстою сливок. При нарушении температуры хранения консистенция молока может быть хлопьевидной, на дне тары образуется белый рыхлый осадок белка, в дальнейшем в результате нарастания кислотности образуется сгусток.

Вкус и запах молока обычно определяют при комнатной температуре. Запах молока определяют после взбалтывания и сразу же после вскрытия тары, втягивая воздух. Для определения вкуса берут около 10 мл молока, ополаскивают им ротовую полость до корня языка и отмечают наличие отклонений от нормального вкуса.

Для определения цвета молоко наливают в прозрачный стакан и просматривают при рассеянном дневном свете, обращая внимание на наличие посторонних оттенков [3].

Все образцы молока и молочных продуктов, взятые для анализа, по органолептическим показателям соответствуют норме.

Определение кислотности молока. Определение кислотности молока проведено титриметрически (в таблице 1 – (τ)) согласно [4]. Некоторые пробы проанализированы методом потенциометрического титрования (в

**АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА МОЛОКА И МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ,
В ТОМ ЧИСЛЕ ДЛЯ ДЕТСКОГО ПИТАНИЯ**

таблице 1 – (п)). По кислотности определяют свежесть молока. Кислотность свежего молока обусловлена наличием в нем белков, фосфорнокислых и лимоннокислых солей, небольшого количества растворенной углекис-

лоты и органических кислот. Кислотность возрастает в результате развития микроорганизмов, сбраживающих молочный сахар. Результаты определения кислотности молока и молочных продуктов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты определения кислотности молока и молочных продуктов

Table 1 – Results of determining the acidity of milk and dairy products

Объект анализа	Предприятие	Кислотность*Т град	Метод, сезон
молоко для детского питания «Модест»	ОАО «Модест», г. Барнаул	18,1 ± 0,9	(т), весна
молоко для детского питания «Модест»	ОАО «Модест», г. Барнаул	17,5 ± 0,6	(п)
молоко для детского питания «ФрутоНяня»	АО «Прогресс», г. Липецк	16,7 ± 0,9	(т)
молоко для детского питания «Агуша»	АО «ВБД», г. Москва	16,7 ± 0,9	(т)
молоко для детского питания «Тёма»	АО «Данон Россия», Тюменская область, г. Ялуторовск	16,3 ± 0,9	(т)
молоко	«Молочная сказка», г. Барнаул	15,1 ± 0,6	(т), весна
молоко	«Молочная сказка», г. Барнаул	8,1 ± 0,7	(п)
молоко топленое	«Молочная сказка», г. Барнаул	18,1 ± 0,9	(т), весна
молоко	ПМЖЛ, г. Барнаул	15 ± 0,8	(т)
молоко деревенское	Алтайский край	17 ± 0,9	(т), весна
молоко деревенское	д. Новозыряново	16 ± 0,6	(т), осень
молоко деревенское	Алтайский край	16 ± 0,7	(п)
молоко	«Коровкино»	20,0 ± 0,9	(т), весна
молоко	«Коровкино»	12,5 ± 0,8	(п)
молоко	«Алтайская буренка»	20,0 ± 0,8	(т), весна
молоко	«Алтайская буренка»	17,0 ± 0,7	(п)
молоко	«Домик в деревне»	16,7 ± 0,8	(т), весна
молоко	«Простоквашино»	16 ± 0,6	(п)
молоко топленое	«Простоквашино»	14 ± 0,5	(п)
молоко бочковое	Алтайский край	18,5 ± 0,8	(п)
кефир «Биобаланс» 1 %	АО «Данон – Россия», г. Москва	88 ± 1	(п)
кефир 2,5 %	«Коровкино», г. Барнаул	87,5 ± 0,8	(п)
кефир 1 %	«Коровкино», г. Барнаул	95 ± 1	(п)
йогурт «Нежный»	Сарпина	95 ± 1	(п)
йогурт	«Коровкино», г. Барнаул	90 ± 1	(п)

Определение белков. Определение белков проведено фотоколориметрически

антипро-теиновым методом [5]. Результаты определения представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты определения белков в молоке

Table 2 – Results of determination of proteins in milk

Объект анализа	Предприятие	Содержание, %
молоко	«Алтайская буренка»	2,5 ± 0,1
молоко «Отборное», 3,5 %	«Простоквашино»	1,9 ± 0,1
молоко топленое	«Простоквашино»	2,4 ± 0,1
молоко Отборное 3,5 %	«Молочная сказка», г. Барнаул	1,7 ± 0,2
молоко 2,5 %	«Молочная сказка», г. Барнаул	2,9 ± 0,3
молоко топленое	«Молочная сказка», г. Барнаул	2,6 ± 0,2
молоко	«Домик в деревне»	2,8 ± 0,3
молоко	«Коровкино»	2,5 ± 0,1
молоко	«Белый замок», г. Заринск	3,5 ± 0,1
молоко 2,5 %	г. Северск	1,6 ± 0,1
молоко	«Столица молока», г. Славгород	3,7 ± 0,2
молоко для детского питания	АО «ВБД», г. Москва,	3,6 ± 0,1
молоко для детского питания	ОАО «Модест», г. Барнаул	3,5 ± 0,1
молоко деревенское	Алтайский край	3,6 ± 0,2

Определение лактозы. Определение лактозы проводили йодометрическим методом [6]. Результаты определения лактозы в молоке представлены в таблице 3.

Определение кальция и магния. Опре-

деление кальция и магния проведено методом комплексно-метрического титрования [7]. Результаты определения кальция, магния в молоке и молочных продуктах приведены в таблице 4.

Таблица 3 – Результаты определения лактозы в молоке

Table 3 – Results of determination of lactose in milk

Объект анализа	Предприятие	Содержание, ω, %	Сезон
молоко	«Коровкино»	3,0 ± 0,2	осень
молоко	«Коровкино»	7,6 ± 0,5	весна
молоко	«Биоснежка»	0,13 ± 0,05	весна
молоко деревенское	Алтайский край	3,1 ± 0,1	осень
молоко деревенское	Алтайский край	4,2 ± 0,2	осень
молоко	«Простоквашино»	2,1 ± 0,1	весна
молоко	ПМЖЛ, г. Барнаул	5,2 ± 0,4	весна
молоко	ПМЖЛ, г. Барнаул	7,6 ± 0,9	осень
молоко для детского питания «Агуша»	АО «ВБД», г. Москва	7,2 ± 0,1	весна
молоко для детского питания «Тема»	АО «Данон Россия», Тюменск. обл.	7,0 ± 0,1	весна

Таблица 4 – Результаты определения кальция, магния в молоке и молочных продуктах

Table 4 – Results of determination of calcium, magnesium in milk and dairy products

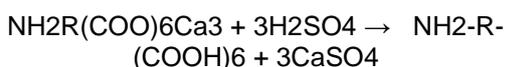
Объект анализа	Предприятие	Содержание, мг %
1	2	3
молоко 3,2 %	«Белый замок», г. Заринск	Ca – 58,2 ± 0,1; Mg – 16,4 ± 0,3
молоко	«Домик в деревне»	Ca – 27,0 ± 0,3; Mg – 12,0 ± 0,1
молоко	«Биоснежка»	Ca – 28 ± 0,3; Mg – 11 ± 0,5
молоко	«Коровкино» АО БМК, г. Барнаул	Ca – 40,7 ± 0,5; Mg – 2,0 ± 0,3
молоко	«Коровкино» АО БМК, г. Барнаул	Ca – 33,7 ± 0,3; Mg – 7,8 ± 0,3
молоко	«Коровкино»	Ca – 31 ± 0,3; Mg – 4,7 ± 0,3
молоко 2,5 %	«Коровкино»	Ca – 15,5 ± 0,3; Mg – 21 ± 0,3
молоко 2,5 %	«Коровкино»	Ca – 20,2 ± 0,3; Mg – 16,0 ± 0,3
молоко	«Деревенька», г. Северск	Ca – 36,9 ± 0,3
молоко деревенское	Алтайский край	Ca – 90 ± 0,3; Mg – 30 ± 0,3
молоко деревенское	Алтайский край	Ca – 159 ± 0,3; Mg – 88 ± 0,3
молоко деревенское	Алтайский край	Ca – 40 ± 0,3; Mg – 13 ± 0,3
молоко	«Алтайская буренка»	Ca – 89 ± 0,3; Mg – 77 ± 0,3
молоко «Столица молока»	Тюменцево, Алтайский край	Ca – 116 ± 0,3; Mg – 7 ± 0,3
молоко	«Простоквашино»	Ca – 15,5 ± 0,3; Mg – 24,2 ± 0,3
молоко «Зеленый луг»	Алтайский край	Ca – 42,7 ± 0,3; Mg – 20,2 ± 0,3
«Агуша»	АО «ВБД», г. Москва	Ca – 117,5 ± 0,3
«Тема»	АО «Данон Россия» Тюмен. обл.	Ca – 108 ± 0,31
«Модест»	АО «Модест», г. Барнаул	Ca – 97 ± 0,3
«ФрутоНяня перед сном»	АО «Прогресс», г. Липецк	Ca – 98 ± 0,2
«ФрутоНяня»	АО «Прогресс», г. Липецк	Ca – 82 ± 0,3
Иммунеле вишня-черника	г. Москва	Ca – 0,11 ± 0,03; Mg – 0,03 ± 0,01
Мажитель Пинаколада	Москва ЗАО «ВБД»	Ca – 0,03 ± 0,01
Мажитель Клубничный	Москва ЗАО «ВБД»	Ca – 0,14 ± 0,05
Мажитель мультифрукт	Москва ЗАО «ВБД»	Ca – 0,07 ± 0,01; Mg – 0,03 ± 0,01
Мажитель арбуз-дыня	Москва ЗАО «ВБД»	Ca – 0,03 ± 0,01
Напиток «Снежок»	ООО «Алтайская буренка», с. Буланиха	Ca – 0,04 ± 0,01; Mg – 0,02 ± 0,01
йогурт лайм с клубникой	АО Данон – Россия», г. Москва	Ca – 0,06 ± 0,01
йогурт «Активия» лесные ягоды	Москва Данон – Индустрия	Ca – 0,30 ± 0,05

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА МОЛОКА И МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ,
В ТОМ ЧИСЛЕ ДЛЯ ДЕТСКОГО ПИТАНИЯ

Продолжение таблицы 4 / Continuation of table 4

1	2	3
йогурт «Славянский» вишня-черешня	ООО «Алтайский молочник»	Ca – 0,26 ± 0,06
Йогурт «Биобаланс»	АО Данон – Россия», г. Москва	Ca – 0,14 ± 0,02
Йогурт «Биобаланс» клубника	АО Данон – Россия», г. Москва	Ca – 0,24 ± 0,02
Йогурт клубника, земляника 2,5 %	«Коровкино» АО БМК, г. Барнаул	Ca – 0,28 ± 0,02
Йогурт Ehrmann киви-крыжовник	ООО Ehrmann, Моск. обл, Раменский р-н	Ca – 0,06 ± 0,01
Йогурт «Чудо» вишня-черешня	Москва ЗАО «Вимбиль Дан»	Ca – 0,019 ± 0,006
Йогурт «Чудо» тропический	Москва ЗАО «Вимбиль Дан»	Ca – 0,92 ± 0,04
Йогурт «Чудо» вишня-черника	Москва ЗАО «Вимбиль Дан»	Ca – 0,084 ± 0,009
Йогурт «Чудо» персик-абрикос	Москва ЗАО «Вимбиль Дан»	Ca – 0,027 ± 0,008
Йогурт «Чудо» черешня-малина	Москва ЗАО «Вимбиль Дан»	Ca – 0,022 ± 0,009
Йогурт	«Молочная сказка», г. Барнаул	Ca – 0,31 ± 0,04
Йогурт, малина	«Белый замок», г. Заринск	Ca – 0,12 ± 0,02
Йогурт био-йогурт, клубника	Bio-max	Ca – 0,10 ± 0,02

Определение жира. Определение проведено согласно [8]. Сущность метода: жир выделяют в виде сплошного слоя, объем которого измеряют в специальном приборе – жиромере. Жир в молоке находится в виде жировых шариков, окруженных липопротеиновой оболочкой, которая препятствует их слипанию и обуславливает высокую стабильность жировой эмульсии в молоке. Поэтому для выделения жира белковую оболочку разрушают воздействием серной концентрированной кислоты, которая переводит казеинкальциевый комплекс молока в двойное растворимое соединение казеина с серной кислотой:



Для более быстрого выделения жира кроме кислоты вводят изоамиловый спирт, уменьшающий поверхностное натяжение жировых шариков и способствующий их слипанию. Результаты определения представлены в таблице 5.

Определение плотности. Определение проведено согласно [9]. Плотность молока определена ареометром – лактоденсиметром при температуре от 10 до 25 °С с приведением показаний прибора к 20 °С. Плотность молока тем выше, чем больше в нем содержится сахара, белков и минеральных веществ, и тем ниже, чем больше жира. Результаты определения плотности представлены в таблице 5.

Определение сухого молочного остатка. Определение проведено согласно [10]. В сухой остаток молока входят все составные части, которые остаются в молоке после удаления из него влаги. В сухой обезжиренный молочный остаток (СОМО) входят все составные части молока, за исключением жира. СОМО определяют вычитанием массовой доли жира из массовой доли сухого молочного остатка. СОМО – величина более постоянная, чем величина сухого молочного остатка. Результаты определения сухого обезжиренного молочного остатка представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты определения жира, плотности и сухого обезжиренного молочного остатка

Table 5 – Results of determination of fat, density and dry fat-free milk residue

Объект анализа	Предприятие	Содерж. жира, %	Плотность, кг/м ³	Содерж. СОМО, %
молоко для детского питания «Модест», 3,2 %	АО «Модест», г. Барнаул	3,40 ± 0,08	1028,1 ± 0,1	8,43 ± 0,06
молоко для детского питания «ФрутоНяня», 2,5 %	АО «Прогресс», г. Липецк	2,65 ± 0,06	1032,5 ± 0,1	9,18 ± 0,06
молоко для детского питания «Тёма» 3,2 %	АО «Данон Россия, Тюменская область	3,31 ± 0,04	10027,3 ± 0,1	7,96 ± 0,08

Заключение

Таким образом, проведен анализ показателей качества молока и молочных продуктов, в том числе для детского питания, и выявлено соответствие этих образцов органолептическим требованиям и физико-химическим показателям. По органолептическим показателям: вкусу, цвету, запаху, консистенции – все образцы соответствуют норме. Наибольшая кислотность выявлена в образцах молока «Алтайская буренка» и «Коровкино» – 200 Т, тем не менее этот показатель не выходит за пределы нормы, в том числе в молоке для детского питания.

Наибольшее содержание кальция и магния содержится в деревенском молоке – Са (40–159) мг, Mg (13–77) мг и образцах «Алтайская буренка», «Белый замок», «Коровкино» (40–89) мг. В молоке для детского питания этот показатель сравним – Са (95–120) мг. Из всех марок для детского питания только «Агуша» соответствует заявленному количеству кальция. В молочных продуктах, таких как кефир, йогурт, напитки «Снежок», «Мажитель», содержание кальция значительно ниже.

Содержание лактозы выше в образцах «Коровкино», деревенском молоке, «ПМЖЛ» (3,0–7,6) % и меньше нормы в образце молока «Биоснежка». В молоке для детского питания этот показатель сравним с показателем в образцах с высоким содержанием лактозы (7,0–7,2) %.

Белка больше всего в образцах «Столица молока», деревенском молоке, «Белый замок» (3,5–3,7) %, такое же содержание в образцах молока для детского питания.

Содержание жира в детском питании зависит от заявленной жирности и соответствует значению, указанному на упаковке, кроме образца молока «Тёма».

Плотность и содержание сухого обезжиренного молочного остатка соответствует норме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бредихин С.А., Космодемьянский Ю.В., Юрин В.Н. Технология и техника переработки молока. – М. : Колос, 2001. – 400 с.
2. Федеральный закон Российской Федерации от 12 июня 2008 г. № 88-ФЗ "Технический регламент на молоко и молочную продукцию". – 6 с.
3. ГОСТ 26809-86 «Молоко и молочные продукты. Правила приемки, методы отбора и подготовка проб к анализу».
4. ГОСТ 3624-92 Молоко и молочные продукты. Титриметрические методы определения кис-

лотности – Введ. 1994-01-01 – М. : ИПК Издательство стандартов, 2004. – 8 с.

5. ГОСТ 25179-2014 Молоко и молочные продукты. Методы определения массовой доли белка (Переиздание).

6. ГОСТ Р 54667-2011 Молоко и продукты переработки молока. Методы определения массовой доли сахаров.

7. ГОСТ Р 55331-2012 Молоко и молочные продукты. Титриметрический метод определения содержания кальция. – Введ. 2014-01-01. – М. : Стандартинформ, 2013 – 12 с.

8. ГОСТ 5867-90 «Молоко и молочные продукты. Методы определения жира».

9. ГОСТ Р 54758 2011 «Молоко и продукты переработки молока. Методы определения плотности».

10. ГОСТ Р 54761 2011 «Молоко и молочная продукция. Методы определения массовой доли сухого обезжиренного молочного остатка».

Информация об авторах

Е. А. Лейтес – кандидат химических наук, доцент кафедры «Техносферной безопасности и аналитической химии» Алтайского государственного университета.

Л. С. Егорова – кандидат химических наук, доцент кафедры «Техносферной безопасности и аналитической химии» Алтайского государственного университета.

С. В. Темерев – доктор химических наук, доцент кафедры «Техносферной безопасности и аналитической химии» Алтайского государственного университета.

REFERENCES

1. Bredikhin, S.A., Kosmodemyansky, Yu.V. & Yurin V.N. (2001). *Milk processing technology and technique*. Moscow: Kolos. (In Russ.).
2. Federalnyj zakon Rossijskoj Federacii of 12 June 2008 h. N 88-FZ "Technical Regulations for Milk and Dairy Products". (2008). Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).
3. Milk and milk products. Acceptance regulations, methods of sampling and preparation for testing. (1987). *HOST 26809-86 from 1987-01-01*. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).
4. Milk and dairy products. Titrimetric methods for determining acidity. (1994). *HOST 3624-92 from 1994-01-01*. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).
5. Milk and milk products. Method for determination of protein. (2015). *HOST 25179-2014 from 2015-07-01*. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).
6. Milk and milk products. Methods for determination of sugars mass fraction. (2013). *HOST R 54667-2011 from 2013-01-01*. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).
7. Milk and dairy products. Titrimetric method for determining the calcium content. (2013). *HOST R*

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА МОЛОКА И МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ,
В ТОМ ЧИСЛЕ ДЛЯ ДЕТСКОГО ПИТАНИЯ

55331-2012 from 2014-01-01. Moscow: Standartinform. (In Russ.).

8. Milk and dairy products. Method of determination of fat. (1991). HOST 5867-90 from 1991-07-01. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).

9. Milk and milk products. Methods for determination of density. (2013). HOST R 54758 2011 from 2013-01-01 Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).

10. Milk and milk products. Methods for determination of dry skim dairy residue mass-fraction. (2013). HOST R 54761 2011 from 2013-01-01. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).

Information about the authors

E. A. Leites – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Technosphere Safety and Analytical Chemistry, Altai State University.

L. S. Egorova – Candidate of Science (Chemistry), Associate Professor of the Department of Technosphere Safety and Analytical Chemistry, Altai State University.

S. V. Temerev – Doctor of Chemistry, Associate Professor of the Department of Technosphere Safety and Analytical Chemistry, Altai State University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 14.12.2020; одобрена после рецензирования 12.02.2021; принята к публикации 17.02.2021.

The article was received by the editorial board on 14 Dec 20; approved after reviewing on 12 Feb 21; accepted for publication on 17 Feb 21.

Научная статья

05.18.04 – Технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств (технические науки)

УДК 637.5.035

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.009

ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ СТАБИЛЬНОСТИ МЯСНЫХ СИСТЕМ

Ирина Сергеевна Патракова¹, Галина Васильевна Гуринович²,
Ольга Михайловна Мышалова³, Сергей Александрович Серегин⁴,
Марина Викторовна Патшина⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

¹ isp78@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6147-0899>

² ggv55@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7869-4151>

³ mismeat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8664-9657>

⁴ sergeyas76@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3070-7755>

⁵ m.patshina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2047-3644>

Аннотация. В формировании качества пищевых продуктов и стабильности их при хранении важное значение имеют окислительно-восстановительные реакции, развитие которых можно оценить измерением окислительно-восстановительного потенциала (ОВП). Значение ОВП мясных продуктов зависит от многих факторов, включая природу сопряженных окислительно-восстановительных пар, температуру, концентрацию про- и антиоксидантов. Цель исследований заключалась в изучении процесса посола мяса с различным содержанием пигментов посолочными составами с пониженным содержанием натрия и влиянии их на ОВП соленого сырья, интенсивность окисления липидов и белков. Исследования выполнены на охлажденном сырье – длиннейшей мышце спины свинины и курином филе, выделенном из бедренной части. Посол мясного сырья осуществляли пищевой солью (К) и посолочной смесью (А), состоящей из 70 % хлорида натрия +15 % хлорида калия +15 % хлорида кальция. Результаты исследования свидетельствуют о том, что процесс посола мясного сырья, как хлоридом натрия, так и составами с пониженным содержанием натрия, сопровождается снижением окислительно-восстановительного потенциала, что способствует стабилизации процессов окисления пигментов. Уменьшение количества хлорида натрия в составе посолочной смеси способствует ингибированию окислительных изменений липидов исследуемых видов сырья.

Ключевые слова: окислительно-восстановительный потенциал, pH, хлорид натрия, хлорид калия, хлорид кальция, пигменты мяса, окисление липидов, ТБЧ, посолочные составы, посол мяса.

Для цитирования: Окислительно-восстановительный потенциал как показатель стабильности мясных систем / И.С. Патракова, Г.В. Гуринович, О.М. Мышалова и др. // Ползуновский вестник. 2021. № 1. С. 66–73. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.009

Original article

OXIDATION- REDUCTION POTENTIAL AS AN INDICATOR OF THE STABILITY OF MEAT SYSTEMS

Irina S. Patrakova¹, Galina V. Gurinovich², Olga M. Myshalova³,
Sergei A. Seregin⁴, Marina V. Patshina⁵

1, 2, 3, 4, 5 Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

¹ isp78@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6147-0899>

² ggv55@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7869-4151>

³ mismeat@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8664-9657>

⁴ sergeyas76@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3070-7755>

⁵ m.patshina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2047-3644>

Abstract. Reduction-oxidation (redox) reactions, the development of which can be assessed by measuring the redox potential (ORP), are important for the formation of the quality of food products and their stability during storage. The ORP value of meat products depends on many factors, including the nature of the coupled redox pairs, temperature and the concentration of pro- and antioxidants. The aim of the research was to study the process of curing of meat with different pigment content with curing compositions with a low sodium content and their effect on the ORP of salted raw materials, the intensity of lipid and protein oxidation. The studies were carried out on chilled raw materials – the longissimus dorsi of pork and chicken fillet, isolated from the haunch. Curing of raw meat was carried out with edible salt (K) and a curing mixture (A), consisting of 70 % sodium chloride plus 15 % potassium chloride plus 15 % calcium chloride. The results of the study indicate that the process of curing of meat raw materials both with sodium chloride and with compounds of low sodium content is accompanied by a decrease in the redox potential, which contributes to the stabilization of pigment oxidation processes. A decrease in the amount of sodium chloride in the composition of the curing mixture helps to inhibit oxidative changes in lipids of the studied raw materials.

Keywords: oxidation-reduction potential, pH, sodium chloride, potassium chloride, calcium chloride, meat pigments, lipid oxidation, TBCH, curing compositions, meat salting.

For citation: Patrakova, I.S., Gurinovich, G.V., Myshalova, O.M., Seregin, S.A. & Patshina, M.V. (2021). Oxidation-reduction potential as an indicator of the stability of meat systems. *Polzunovskiy vestnik*, 1, 66–73. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.009

В формировании свойств биологических систем, к которым относятся пищевые продукты, большое значение имеют окислительно-восстановительные реакции, степень активности электронов, в которых характеризует окислительно-восстановительный потенциал (ОВП).

Развитие окислительно-восстановительных процессов в биологических системах имеет свои особенности, что обусловлено действием не только кислорода и его активных форм, но и продуктов превращения липидов, белков, а также ферментов, в том числе обладающих антиоксидантной активностью. Результатом совокупных окислительно-восстановительных реакций является перераспределение электронов в молекулах, изменение их структуры за счет негидролитического расщепления отдельных связей, образования новых, изомеризации углеродного

POLZUNOVSKIY VESTNIK № 1 2021

скелета и др. [1]. Окислительно-восстановительный потенциал используют в качестве меры таких процессов, как гликолиз, окислительное фосфорилирование и дегидрогеназное окисление жирных кислот [2].

От величины окислительно-восстановительного потенциала зависит скорость роста микроорганизмов. При этом диапазон значений потенциала, при котором наблюдается интенсивный рост микроорганизмов, варьирует в зависимости от их отношения к кислороду. Согласно современной классификации, аэробные микроорганизмы активно растут при окислительно-восстановительном потенциале от +500 мВ до +300 мВ; факультативные анаэробы +300 мВ до –100 мВ; и анаэробные от +100 мВ до менее –250 мВ [3]. Добавлением аскорбиновой кислоты и снижением ОВП можно вызвать рост анаэробных бактерий в присутствии воздуха, и, наоборот,

можно вызвать рост аэробов в анаэробных условиях, повысив ОВП среды [4]. Morris, J.G. с соавторами выдвинули несколько гипотез о влиянии окислительно-восстановительного потенциала и кислорода на рост анаэробных микроорганизмов, согласно одной из которых анаэробы способны активно расти и размножаться в средах с низким значением окислительно-восстановительного потенциала от минус 150 мВ до минус 400 мВ при рН 7,0 и в присутствии свободного кислорода [5].

В мясных системах на величину ОВП и интенсивность роста микроорганизмов оказывают влияние такие процессы, как измельчение и перемешивание сырья с вработыванием кислорода воздуха, использование различных пищевых добавок, посол сырья, тепловая обработка. Например, анаэробные *Clostridium perfringens* могут расти при ОВП, близком к +200 мВ, но в присутствии высоких концентраций пищевой соли диапазон роста увеличивается [1].

В неорганических системах для исследования ионного состава различных сопряженных окислительно-восстановительных пар используются окислительно-восстановительные электроды на основе инертного металла – платины. Через платину осуществляется обмен электронами между восстановленной и окисленной формами в сопряженных окислительно-восстановительных парах.

Для характеристики окислительно-восстановительных свойств биологических сопряженных пар вместо стандартных значений потенциалов E , которые соответствуют рН 0 или рН 14, используют нормальные значения восстановительных потенциалов E , измеренные при 1 М концентрации компонентов и при рН 7,0 и при постоянной температуре 37 °С.

В целом природные сопряженные окислительно-восстановительные пары мяса, включая пигменты, антиоксиданты имеют потенциалы в области значений $-0,42$ В до $+0,82$ В, характеризующих электрохимическую устойчивость воды [2].

При этих условиях значение потенциала водородного электрода $E(2H + /H_2) = -0,42$ В, а соотношение между значениями нормального и стандартного восстановительных потенциалов: $E = E - 0,42$.

На значение окислительно-восстановительного потенциала влияет не только природа сопряженной окислительно-восстановительной пары и температура, но и соотношение активностей окисленной и восстановленной форм в растворе.

Таким образом, величину окислительно-восстановительного потенциала можно свя-

зать, с одной стороны, с химическими превращениями в продукте, т. е. с устойчивостью пищевой системы, с другой стороны, с концентрацией компонентов, способных принимать или отдавать электроны.

Окислительно-восстановительный потенциал мяса изменяется в зависимости от рН, количества гемсодержащих белков и продуктов окисления липидов, от ферментативной активности в мышцах, продолжительности автолиза, а также от уровня микробной обсемененности, вида и способа упаковки, парциального давления кислорода в среде хранения, состава продукта, присутствия таких ингредиентов, как аскорбиновая кислота, нитрит натрия, редуцирующие сахара, а также окисления катионов, ионной силы и т. д. [1, 6].

Известны работы о влиянии тепловой обработки мясных продуктов на величину окислительно-восстановительного потенциала. Установлено, что низкие значения ОВП в сыром мясе обусловлены наличием активных дыхательных ферментных систем мясное сырье после тепловой обработки характеризуется более высоким значением показателя [7].

Измерение окислительно-восстановительного потенциала мяса и мясных продуктов открывает широкие возможности в оценке влияния технологических параметров и способов обработки на характер и интенсивность изменений свойств сырья и продукции в процессе созревания, переработки и хранения.

Одним из наиболее значимых технологических процессов является посол мясного сырья с добавлением хлорида натрия. Проксидантный эффект хлорида натрия обусловлен его влиянием на целостность клеточных мембран и более быстрым взаимодействием с белками и липидами, снижением каталитической активности антиоксидантных ферментов и образованием метмиоглобина, ускоряющего процесс окисления. Наличие примесей, таких как соли железа и меди, может оказать дополнительный прооксидантный эффект [8]. Puolanne и Halonen выявлен специфический механизм прооксидантного воздействия соли на мышечные белки [9]. Указанные факты свидетельствуют о том, что посол сырья усиливает тенденцию к окислению.

Цель исследования изучить влияние посолочных составов с частичной заменой хлорида натрия на направленность окислительно-восстановительных реакций в процессе посола мясного сырья.

Традиционно для посола мясного сырья применяется пищевая соль (хлорид натрия),

ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ СТАБИЛЬНОСТИ МЯСНЫХ СИСТЕМ

которая является источником жизненно необходимого для организма человека натрия. В то же время, чрезмерное потребление натрия повышает риск развития сердечно-сосудистых заболеваний. В соответствии с рекомендациями Всемирной организации здравоохранения рекомендуемая норма потребления натрия соответствует 5 г пищевой соли в сутки.

Количество хлорида натрия, добавляемого в большинство мясных продуктов, изменяется от 1,7 до 4 %. Учитывая, что отрицательное действие соли на организм человека заключается в накопительном эффекте, снижение количества пищевой соли, а, следовательно, натрия, в полной мере отвечает современным тенденциям в области здорового питания.

В этой связи для посола мясного сырья использовали пищевую соль (К) и посолочную смесь (70 % хлорид натрия +15 % хлорида калия +15 % хлорида кальция) – (А).

Для посола использовали охлажденное сырье: мясо кур (филе, выделенное из бедренной части), свинину (длиннейшая мышца). Охлажденное мясо птицы и свинину измельчали до размеров частиц 2–3 мм и перемешивали с исследуемыми посолочными ингредиентами – солью и посолочной смесью. Уровень введения сухих посолочных составов – 3 % от массы сырья.

Смешанное с посолочными ингредиентами сырье выдерживали в течение 48 часов при температуре $(4 \pm 2)^\circ\text{C}$. Определение окислительно-восстановительного потенциала, рН, количества пигментов и тиобарбитурового числа (ТБЧ) проводили через 48 часов посола.

Активную кислотность (рН) определяли потенциометрическим методом, основанным на измерении электродвижущей силы элемента, состоящего из хлорсеребряного электрода, и электрода сравнения с известной величиной потенциала.

ОВП определяли с помощью иономера с платиновым электродом, в качестве электрода сравнения – хлорсеребряный электрод. Платиновый электрод плотно помещали в пробу измельченного мяса (100 г) и измерения проводили через 2 минуты после погружения [10].

Содержание общего количества пигментов в образцах мясного сырья определяли методом [11], основанным на экстрагировании пигментов мяса водным раствором ацетона и последующим измерении оптической плотности экстракта на спектрофотометре спектрофотометра ПЭ-5400УФ

(«ЭКРОСХИМ», Россия) при длине волны 640 нм в отношении солянокислого ацетона

Содержание метмиоглобина определяли по методу Krzywicki и др. [12], основанному на экстракции пигментов с последующим измерением оптической плотности раствора при длинах волн 525 нм, 545 нм, 565 нм, 572 нм.

Величину тиобарбитурового числа определяли дистилляционным методом Tarladgis [13] с использованием тиобарбитуровой кислоты.

Для каждого из видов мясного сырья результаты получены на 5-ти сериях измерений, проверенных на однородность, повторность измерений каждого из показателей внутри серии трехкратная. Обработка данных осуществлялась стандартными методами математической статистики. Результаты измерений представлены в виде среднего \pm SD (стандартное отклонение) при доверительной вероятности $p < 0,05$.

Процесс посола мясного сырья сопровождается изменением его функционально-технологических и потребительских свойств, изменением состояния белковой и липидной фракции. Направленность всех этих изменений может быть оценена, в т. ч. величиной ОВП.

Согласно полученным данным, значение ОВП для исходного охлажденного сырья составляет для свинины 124,3 мВ, для мяса птицы – 60,6 мВ. Полученные результаты следует объяснять рядом факторов, среди которых на наш взгляд, существенное влияние оказывают ионы железа Fe^{+2} и Fe^{+3} , входящие в состав гемовых пигментов, содержание которых в мясе птицы минимально и меньше, чем в свинине в 1,86 раза (таблица 1).

Значение рН свинины ниже рН мяса птицы на 0,95 ед. рН. Полученные результаты согласуются с имеющимися данными о том, что между значением рН и ОВП существует обратная зависимость [14].

Установлено, что посол мясного сырья пищевой солью (образец К) и последующая выдержка в течение 48 часов приводит к повышению ОВП. Так, в свинине, посоленной пищевой солью (образец К), значение ОВП уменьшилось на 8,5 % относительно несоленого сырья, в аналогичном образце из мяса птицы – на 8,0 %. Введение в мясное сырье хлорида натрия приводит к повышению рН среды в исследуемых образцах, что согласуется с известными зависимостями.

Полученные значения ОВП согласуются с динамикой рН сырья в процессе посола [7, 14].

Величина рН оказывает влияние на

направленность окислительно-восстановительных реакций, так при повышении pH и снижении ОВП создаются благоприятные условия для восстановительных реакций.

Таким типом реакций, протекающих при посоле мясного сырья, является превращение пигментов мяса, то есть миоглобина.

Посол хлоридом натрия приводит к уве-

личению количества метмиоглобина в мясном сырье на фоне постоянного содержания общих пигментов. Установлено, что количество метмиоглобина в свинине через 48 часов посола увеличилось относительно несоленого сырья на 31,0 % и на 35,4 % для мяса птицы.

Таблица 1 – Влияние условий посола на свойства мясного сырья (p < 0,05)

Table 1 – Influence of salting conditions on the properties of raw meat (p < 0,05)

Образец	pH	ОВП, мВ	количество пигментов, мг/100г		ТБЧ, мгМА/кг
			общее	метмиоглобина,	
Свинина (длиннейшая мышца)					
сырье (n = 15)	5,35 ± 0,03 ^{bc}	124,3 ± 3,31 ^{bc}	108,3 ± 0,15 ^c	50,1 ± 0,16 ^{bc}	0,315 ± 0,08 ^c
сырье +К (n = 15)	5,60 ± 0,04 ^{ac}	113,7 ± 2,89 ^{ac}	108,9 ± 0,30 ^{ac}	65,8 ± 0,17 ^{ac}	0,362 ± 0,06 ^{ac}
сырье +А (n = 15)	5,47 ± 0,06 ^{ab}	110,5 ± 2,04 ^{ab}	109,4 ± 0,26 ^{ab}	59,4 ± 0,12 ^{ab}	0,322 ± 0,09
Мясо кур (филе бедренной части)					
сырье (n = 15)	6,30 ± 0,02 ^{bc}	60,6 ± 1,21 ^{bc}	58,2 ± 0,11 ^{bc}	23,4 ± 0,13 ^{bc}	0,167 ± 0,04
сырье +К (n = 15)	6,54 ± 0,05 ^{ac}	55,7 ± 1,48 ^{ac}	59,6 ± 0,12 ^{ac}	31,7 ± 0,10 ^{ac}	0,186 ± 0,05
сырье +А (n = 15)	6,39 ± 0,02 ^{ab}	50,8 ± 1,62 ^{ab}	58,7 ± 0,14 ^{ab}	28,7 ± 0,12 ^{ab}	0,179 ± 0,03

При замене 30 % хлорида натрия на смесь хлорида калия и хлорида кальция в соотношении 1 : 1 получены следующие зависимости исследуемых показателей. Через 48 часов посола показатель pH соленой свинины и мяса птицы повысился, но оказался ниже, чем значения аналогичных образцов с пищевой солью на 0,13 ед и 0,15 ед соответственно. Полученные результаты следует объяснять увеличением концентрации ионов калия и кальция в исследуемом посолочном составе.

В результате снижения pH наблюдается незначительное падение ОВП. Так, снижение ОВП в образце А из свинины относительно образца К составило 2,8 %, из мяса птицы – 8,8 % соответственно.

Снижение ОВП в опытных образцах создает благоприятные условия для стабилизации гемовых пигментов, поскольку при более низком значении потенциала, интенсивность окисления миоглобина снижается, что обеспечивает сохранность розово-красного цвета, присущего исходному сырью. Обусловлено это тем, что в присутствии хлорида калия и хлорида кальция, проявляющих свойства слабых восстановителей, происходит уменьшение концентрации ионов железа Fe³⁺ и увеличение количества ионов Fe²⁺, сопровождающееся снижением ОВП. Определен-

ную роль в стабилизации исходного цвета может играть карбоксимиоглобин, образованию которого способствует снижение ОВП [6].

Экспериментальные данные свидетельствуют об уменьшении количества метмиоглобина в образцах мяса, обработанного составами с пониженным содержанием хлорида натрия. Количество метмиоглобина в свинине (образец А) относительно контрольного образца уменьшилось на 9, %, а в мясе птицы, соответственно на 9,4 %. Полученные результаты согласуются с визуальной оценкой опытных образцов, цвет которых расценивался как более привлекательный.

Полученные экспериментальные данные подтверждаются исследованиями James R. Claus, Holownia K. и др. которые установили, что добавление 1 % хлорида натрия при посоле индейки способствует понижению ОВП и созданию благоприятных восстановительных условий для образования розового цвета в вареной грудке индейки, в результате сохранения миоглобина в нативной форме [15, 16].

Аналогичные результаты получены и Jong Youn Jeong [17], свидетельствующие о том, что увеличение концентрации хлорида натрия при посоле куриной грудки от 1 % до 3 % и последующая выдержка в течение

ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ СТАБИЛЬНОСТИ МЯСНЫХ СИСТЕМ

3 суток способствует снижению ОВП, препятствуя окислению миоглобина.

Ismail Hesham и др. сообщают о том, что посол мяса индейки 2,5 % хлорида натрия способствовало снижению ОВП, при этом продолжительность посола не повлияла на изменение исследуемого показателя [18]. Исследования Morris J.G. [19] свидетельствуют о том, что увеличение концентрации соли при посоле сельди способствует повышению значений ОВП.

Процесс посола влияет не только формированием функционально-технологических свойств мясного сырья, но и провоцирует окисление липидов, что приводит к ухудшению качества.

Интенсивность процессов окисления оценивали по величине тиобарбитурового числа (ТБЧ), характеризующего количество образовавшегося малонового альдегида. Согласно полученным данным (таблица 2), посол сырья хлоридом натрия провоцирует процессы окисления липидов как в свинине, так и в мясе птицы (образцы К). Установлено, что величина ТБЧ относительно несоленого сырья увеличилось на 14,9 % и 11,3 % соответственно для свинины и мяса птицы.

Однозначного объяснения механизма влияния хлорида натрия на окисления липидов на сегодняшний день не существует. Одной из возможных причин рассматривается нарушение целостности клеточных мембран в присутствии хлорида натрия, что делает липиды доступными катализаторам процессов окисления. Другой причиной является участие соли в процессе превращения миоглобина в метмиоглобин, который является прооксидантным фактором. Еще одной возможной причиной является способность пищевой соли снижать активность антиоксидантных ферментов, таких как каталаза, пероксидаза и глутатионпероксидаза [20, 21].

При посоле свинины и мяса птицы посолочной смесью с хлоридом калия и хлоридом кальция взамен хлорида натрия выявлена тенденция к снижению ТБЧ. При посоле мясного сырья посолочной смесью с пониженным содержанием хлорида натрия (образцы А) значение ТБЧ уменьшилось относительно контрольного образца для свинины на 11,0 % и мяса птицы на 3,8 % соответственно. Полученные результаты могут быть объяснены с одной стороны уменьшение количества ионов натрия, которые способны вытеснять ионы железа из гемсодержащих белков, а с другой стороны уменьшением количества в посолочных составах ионов хлора, действующего на липиды как окислитель.

На интенсивность окисления липидов оказывает влияние изменение ОВП. Известно [5], повышение ОВП мясного сырья, выдержанного в посоле, способствует увеличению количества метмиоглобина и, как следствие, интенсифицирует процессы окисления липидов, что выражается в увеличении значения ТБЧ.

Полученные экспериментальные собственные данные свидетельствуют о том, что процесс посола мясного сырья сопровождается интенсификацией процессов окисления, на фоне снижения ОВП. При этом уменьшение количества хлорида натрия способствует стабилизации окислительных изменений липидов при одновременном снижении ОВП. Полученные результаты можно объяснить тем, что определяющими факторами, влияющими на интенсивность окисления липидной фракции, являются вид сырья, его жирнокислотный состав, наличие пищевых добавок, в т. ч. хлорида натрия, и в меньшей степени – ОВП.

Анализ полученных экспериментальных данных позволяет утверждать, что замена 30 % хлорида натрия на смесь KCl + CaCl₂ в соотношении 1 : 1 в процессе посола способствует снижению ОВП мясного сырья. В свою очередь, это приводит к ингибированию процессов окисления липидной фракции и пигментов и улучшению цвета мяса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lund, B.L. The microbiological safety and quality of food / B.L. Lund, A.C. Baird-Parker and G.W. Gould. – Gaithersburg (MD): Aspen, 2000.
2. Прадедова, Е.В. Редокс-процессы в биологических системах / Е.В. Прадедова, О.Д. Нимаева, Р.К. Саляев // Физиология растений. – 2017. – Т. 64. – № 6. – С. 433–445.
3. Ray, B. Fundamental food microbiology / B. Ray. – Boca Raton FL: CRC Press, 1996.
4. Rodel, W. Zur Beziehung von Redoxpotenzial und Keimwachstum (Teil 2) / W. Rodel, R. Schener // Fleischwirtschaft. – 2003. – Vol. 83. – P. 127–131.
5. O'Brien, R.W. Oxygen and the Growth and Metabolism of *Clostridium acetobutylicum* / R.W. O'Brien, J.G. Morris // Journal of General Microbiology. – 1971. – Vol. 68. – P. 307–318.
6. Wójciak, K.M. The Influence of Different Levels of Sodium Nitrite on the Safety, Oxidative Stability, and Color of Minced Roasted Beef / K.M. Wójciak, D.M. Stasiak, P. Keska // Sustainability. – 2019. – Vol. 11. – № 14. – P. 1–16. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11143795>.
7. Factors that Influence Microbial Growth / Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2003. – Vol. 2 (Supplement). – P. 21–32.
8. Bess, K.N. Effects of various salt purity levels on lipid oxidation and sensory characteristics of

ground turkey and pork / K.N Bess – Urbana, Ill.: Univ. of Illinois at Urbana Champaign, 2011.

9. Puolanne, E. Theoretical aspects of water holding in meat / E. Puolanne, M. Halonen // *Meat Sci.* – 2010. – Vol. 86. – № 1. – P. 151–165. DOI: 10.1016/j.meatsci.2010.04.038.

10. Kim, Y.H. Color, Oxidation-Reduction Potential, and Gas Production of Irradiated Meats from Different Animal Species / Y.H. Kim, K.C. Nam, D.U. Ahn // *Journal of food science.* – 2002. – Vol. 67. – № 5. – P. 1692–1695.

11. Lee, B.J. A comparison of carnosine and ascorbic acid on color and lipid stability in a ground beef pattie model system / B.J. Lee, D.G. Hendricks, D.P. Cornforth // *Meat Science.* – 1999. – Vol. 51. – № 3. – P. 245–253.

12. Krzywicki, K. The determination of haem pigment in meat / K. Krzywicki // *Meat Science.* – 1982. – Vol. 7. – № 1. – P. 29–36.

13. Tarladgis, B.G. Distillation method for the de-termination of malonaldehyde in rancid foods / B.G. Tarladgis, B.M. Watts, M. Yonatha // *J. of American Oil Chemistry Society.* – 1960. – Vol. 37. – № 1. – P. 44–48.

14. Хисматуллина З.Н. Сущность, направление и роль окислительно-восстановительных реакций в биологии и медицине // *Вестник Казанского технологического университета.* – № 19. – С. 35–41, 2011.

15. Claus, J.R. Processing conditions and endpoint temperature effects on development of pink defect without pink-generating ligands in cooked ground turkey breast / J.R. Claus, J.Y. Jeong // *Poultry Science.* – 2018. – Vol. 97. – № 2. – P. 667–675. <https://doi.org/10.3382/ps/pex168>.

16. Holownia, K. Cooked chicken breast meat conditions related to simulated pink defect / K. Holownia, M.S. Chinnan, A.E. Reynolds // *J. Food Sci.* – 2004. – Vol. 69. – № 3. – P. 194–199.

17. Jeong, J.Y. Effects of Short-Term Presalting and Salt Level on the Development of Pink Color in Cooked Chicken Breasts / J.Y. Jeong // *Korean Journal for Food Science of Animal Resources.* – 2017. – Vol. 37. – № 1. – P. 98–104.

18. Ismail, H.A. Fat Content Influences the Color, Lipid Oxidation and Volatiles of Irradiated Ground Beef / H.A. Ismail, E.J. Lee, K.Y. Ko and D.U. Ahn // *Journal of food science.* – 2009. – Vol. 74. – № 6. – P. 432–440.

19. Moiseev, I.V. Treatments for prevention of persistent pinking in dark-cutting beef patties / I.V. Moiseev, D.P. Cornforth // *Journal of Food Science.* – 1999. – Vol. 64. – № 4. – P. 738–743.

20. Min, B. Mechanism of Lipid Peroxidation in Meat and Meat Products – A Review / B. Min, D.U. Ahn // *Food Sci. Biotechnol.* – 2005. – Vol. 14. – № 1. – P. 152–163.

21. Rhee, K.S. Prooxidant effects of NaCl in controlled and uncontrolled microbial beef and chicken / K.S. Rhee and Y.A. Ziprin // *Meat Science.* – Vol. 57. – № 1. – P. 105–112. 2001. – [http://dx.doi.org/10.1016/S0309-1740\(00\)00083-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0309-1740(00)00083-8).

Информация об авторах

И. С. Патракова – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология продуктов питания животного происхождения» Кемеровского государственного университета.

Г. В. Гуринович – доктор технических наук, профессор кафедры «Технология продуктов питания животного происхождения» Кемеровского государственного университета.

О. М. Мышалова – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология продуктов питания животного происхождения» Кемеровского государственного университета.

С. А. Серегин – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология продуктов питания животного происхождения» Кемеровского государственного университета.

М. В. Патшина – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология продуктов питания животного происхождения» Кемеровского государственного университета.

REFERENCES

1. Lund, B.L. Baird-Parker, G.W. & Gould, A.C. (2000). *The microbiological safety and quality of food.* Gaithersburg (MD): Aspen.

2. Pradedova, E.V., Nimaeva, O.D. & Salyaev, R.K. (2017). Redox processes in biological systems. *Plant Physiology*, 64(6), 433–445. (In Russ.).

3. Ray, B. (1996). *Fundamental food microbiology.* Boca Raton FL: CRC Press.

4. Rodel, W. & Schener, R. (2003). Zur Beziehung von Redoxpotenzial und Keimwachstum (Teil 2). *Fleischwirtschaft*, (83), 127–131.

5. O'Brien, R.W. & Morris, J.G. (1971). Oxygen and the Growth and Metabolism of *Clostridium acetobutylicum*. *Journal of General Microbiology*, (68), 307–318.

6. Wójciak, K.M., Stasiak, D.M. & Keska P. (2019). The Influence of Different Levels of Sodium Nitrite on the Safety, Oxidative Stability, and Color of Minced Roasted Beef. *Sustainability*, 11(14), 1–16. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11143795>.

7. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety.* (2003). *Factors that Influence Microbial Growth*, 2 (Supplement), 21–32.

8. Bess, K.N. (2011). Effects of various salt purity levels on lipid oxidation and sensory characteristics of ground turkey and pork. Urbana, Ill. : Univ. of Illinois at Urbana Champaign.

9. Puolanne, E. & Halonen M. (2010). Theoretical aspects of water holding in meat. *Meat Sci*, 86(1), 151–165. DOI: 10.1016/j.meatsci.2010.04.038.

10. Kim, Y.H., Nam, K.C. & Ahn D.U. (2002). Color, Oxidation-Reduction Potential, and Gas Pro-

ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ СТАБИЛЬНОСТИ МЯСНЫХ СИСТЕМ

duction of Irradiated Meats from Different Animal Species. *Journal of food science*, 67(5), 1692–1695.

11. Lee, B.J., Hendricks, D.G. & Cornforth, D.P. (1999). A comparison of carnosine and ascorbic acid on color and lipid stability in a ground beef patty model system. *Meat Science*, 51(3), 245–253.

12. Krzywicki, K. (1982). The determination of haem pigment in meat. *Meat Science*, 7(1), 29–36.

13. Tarladgis, B.G., Watts, B.M. & Yonatha, M. J. (1960). Distillation method for the de-termination of malonaldehyde in rancid foods. *OF American Oil Chemistry Society*, 37(1), 44–48.

14. Khismatullina Z.N. (2011). Essence, direction and role of redox reactions in biology and medicine. *Bulletin of Kazan Technological University*, (19), 35–41.

15. Claus, J.R. & Jeong, J.Y. (2018). Processing conditions and end-point temperature effects on development of pink defect without pink-generating ligands in cooked ground turkey breast. *Poultry Science*. 97(2), 667–675. <https://doi.org/10.3382/ps/pex168>.

16. Holownia, K., Chinnan, M.S., Reynolds A.E. (2004). Cooked chicken breast meat conditions related to simulated pink defect. *J. Food Sci.*, 69(3), 194 – 199.

17. Jeong, J.Y. (2017). Effects of Short-Term Presalting and Salt Level on the Development of Pink Color in Cooked Chicken Breasts. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 37(1), 98–104.

18. Ismail, H.A., Lee, E.J., Ko K.Y. & Ahn D.U. (2009). Fat Content Influences the Color, Lipid Oxidation and Volatiles of Irradiated Ground Beef. *Journal of food science*, 74(6), 432–440.

19. Moisee, I.V. & Cornforth, D.P. (1999). Treatments for prevention of persistent pinking in

dark-cutting beef patties. *Journal of Food Science*, 64(4), 738–743.

20. Min, B. & Ahn, D.U. (2005). Mechanism of Lipid Peroxidation in Meat and Meat Products -A Review. *Food Sci. Biotechnol*, 14(1), 152–163.

21. Rhee, K.S. & Ziprin, Y.A. (2001). Prooxidant effects of NaCl in controlled and uncontrolled microbial beef and chicken. *Meat Science*, 57(1), 105–112. [http://dx.doi.org/10.1016/S0309-1740\(00\)00083-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0309-1740(00)00083-8).

Information about the authors

I. S. Patrakova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Food Products of Animal Origin, Kemerovo State University.

G. V. Gurinovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technology of Food Products of Animal Origin, Kemerovo State University.

O. M. Myshalova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Food Products of Animal Origin, Kemerovo State University.

S. A. Seregin – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Food Products of Animal Origin, Kemerovo State University.

M. V. Patshina – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Food Products of Animal Origin, Kemerovo State University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 25.12.2020; одобрена после рецензирования 12.02.2021; принята к публикации 17.02.2021.

The article was received by the editorial board on 25 Dec 20; approved after reviewing on 12 Feb 21; accepted for publication on 17 Feb 21.

Научная статья

05.18.04 – Технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств (технические науки)

УДК 533.9.07

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.010

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ХРАНЕНИЯ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ ПУТЕМ ОБРАБОТКИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ГАЗОВОЙ ПЛАЗМОЙ

Наталья Юрьевна Москаленко¹, Сергей Леонидович Тихонов²,
Наталья Валерьевна Тихонова³, Ольга Алексеевна Кудряшова⁴,
Леонид Сергеевич Кудряшов⁵

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

¹ moskalenko_nu@usue.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8204-9737>

² tihonov_75@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4863-9834>

³ tihonov_75@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5841-1791>

⁴ Всероссийский научно-исследовательский институт птицеперерабатывающей промышленности, Сергиев Посад, Россия

ccvictory@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6597-0492>

⁵ Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова, Москва, Россия

ccvictory@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5889-9176>

Аннотация. Целью исследования является разработка и оценка эффективности действия оборудования – мультиразрядного плазмотрона – для увеличения продолжительности хранения пищевой продукции с учетом механизма действия на микробную клетку. Разработанное устройство представляет собой многоступенчатый резонансный плазмотрон оригинальной конструкции, позволяющий получать одновременно различные виды плазмы, такие как плазма диэлектрического барьерного разряда, коронные разряды, дуговые разряды и атмосферные плазменные струи, с использованием различных газов и их смесей, таких как азот, кислород, гелий и аргон, а также окружающий воздух. Представленное устройство позволяет комбинировать виды и режимы воздействия низкотемпературной плазмой атмосферного давления в процессе обработки в зависимости от технологической задачи по обработке продовольственного сырья или пищевого продукта, в частности, стерилизация, пастеризация. Для оценки эффективности применения устройства сформировали две группы образцов охлажденного мяса свинины. Мясо контрольной группы низкотемпературной газовой плазмой не обрабатывали, образцы мяса опытной группы обрабатывали плазмой в течение 15 минут, поместив мясо в специальный контейнер, который заполнили ионизированным аргоном, ионизацию газа проводили разрядами частотой от 450 до 550 кГц. Установлено положительное влияние обработки охлажденного мяса низкотемпературной плазмой атмосферного давления на сохраняемость.

Ключевые слова: низкотемпературная плазма атмосферного давления, холодная плазма, генератор плазмы, аргоновая плазма, мясо, срок хранения, микроорганизмы, бактерицидное действие.

Для цитирования: Разработка устройства для увеличения продолжительности хранения пищевой продукции путем обработки низкотемпературной газовой плазмой / Н.Ю. Москаленко, С.Л. Тихонов, Н.В. Тихонова и др. // Ползуновский вестник. 2021. № 1. С. 74–83. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.010.

DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR INCREASING THE STORAGE DURATION OF FOOD PRODUCTS BY PROCESSING WITH LOW-TEMPERATURE GAS PLASMA

Natalia Yu. Moskalenko¹, Sergey L. Tikhonov², Natalia V. Tikhonova³,
Olga A. Kudryashova⁴, Leonid S. Kudryashov⁵

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

¹ moskalenko_nu@usue.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8204-9737>

² tikhonov_75@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4863-9834>

³ tikhonov_75@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5841-1791>

⁴ All-Russian Scientific Research Institute of Poultry Processing Industry, Sergiev Posad, Russia, ccvictory@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6597-0492>

⁵ V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS, Moscow, Russia, ccvictory@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5889-9176>

Abstract. *The aim of the research is to develop and evaluate the effectiveness of the equipment – multi-discharge plasmatron – to increase the storage time of food products, taking into account the mechanism of action on the microbial cell. The developed device is a multistage resonant plasmatron of an original design, which allows simultaneous production of various types of plasma, such as dielectric barrier discharge plasma, corona discharges, arc discharges and atmospheric plasma jets, using various gases and their mixtures, such as nitrogen, oxygen, helium and argon; and ambient air. The presented device allows you to combine the types and modes of exposure to low-temperature plasma of atmospheric pressure during processing, depending on the technological task of processing food raw materials or food products, in particular, sterilization, pasteurization. To assess the effectiveness of the device, two groups of chilled pork samples were formed. The meat of the control group was not treated with low-temperature gas plasma, the meat samples of the experimental group were treated with plasma for 15 minutes, placing the meat in a special container, which was filled with ionized argon, gas ionization was carried out with discharges with a frequency of 450 to 550 kHz. The positive effect of the processing of chilled meat with low-temperature plasma of atmospheric pressure on the preservation has been established.*

Keywords: *low-temperature atmospheric pressure plasma, cold plasma, plasma generator, argon plasma, meat, shelf life.*

For citation: Moskalenko, N.Yu., Tikhonov, S.L., Tikhonova, N.V., Kudryashova, O.A. & Kudryashov, L.S. (2021). Development of a device for increasing the storage duration of food products by processing with low-temperature gas plasma. *Polzunovskiy vestnik*, 1,74-83. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.010

Пищевые продукты животного происхождения играют жизненно важную роль в питании человека благодаря своим сенсорным качествам и высокой пищевой ценности. Одной из хорошо известных проблем таких продуктов является высокая скоропортящаяся способность и ограниченный срок хранения, если не применяются соответствующие методы консервирования или обработки. Термическая обработка – это одна из хорошо зарекомендовавших себя процедур, которая наиболее часто используется для приготовления пищи и обеспечения ее безопасности.

Однако применение неадекватных или жестких термических обработок может привести к нежелательным изменениям в сенсорных и питательных свойствах продуктов термической обработки, особенно для продуктов, чувствительных к термической обработке, таких как мясо. В последние годы появились новые методы термической обработки (например, омический нагрев, микроволновая печь) и нетепловой обработки (например, высокое давление, холодная плазма), которые, как оказалось, наносят меньший ущерб каче-

ству обрабатываемых продуктов, чем традиционные методы [1].

Применение низкотемпературной плазмы атмосферного давления (НПАД) – это инновационная технология обработки пищевых продуктов, обеспечивающая эффективное снижение микробной нагрузки до безопасного уровня. Известно, что низкотемпературная плазма снижает микробную обсемененность в поверхностном слое продуктов животного происхождения [2–5].

Конечный эффект действия холодной плазмы на качество пищевых продуктов зависит от таких факторов, как макромолекулярная структура, pH и проводимость.

Существует разница между воздействием НПАД на жидкости и твердые вещества. В продуктах с высоким содержанием воды после контакта плазмы с молекулами воды происходит образование $\bullet\text{OH}$ в качестве основного реактивного соединения кислорода. Радикалы $\bullet\text{OH}$ обладают высокой реакционной способностью и при определенных значениях pH сохраняют свою активность в течение длительного времени, даже после завершения непосредственного воздействия плазмы [6, 7]. Эти стабильные радикалы ответственны за антимикробные эффекты воды в пищевых продуктах, обработанной плазмой [8–10]. Что касается продуктов питания с низким содержанием влаги, то эффект реактивных видов плазмы обычно проявляется только на поверхности, т. к. в зависимости от их состава (в основном, содержания воды) и пористости они могут проникать в продукты лишь на несколько миллиметров в глубину [11, 12].

Кроме отмеченных факторов, на проникновение плазмы в продукт оказывают влияние ее химический состав и скорость потока, т. к. период полураспада образующихся радикалов колеблется от 1 наносекунды ($\bullet\text{OH}$), 1 микросекунды ($^1\text{O}_2$, $\text{O}_2\bullet^-$) до 1 миллисекунды (H_2O_2), что чаще всего приводит к глубине проникновения от 1–30 нм до 1 микрона [13]. Однако небольшие глубины проникновения как раз полезны при обработке пищевых продуктов холодной плазмой, т. к. микроорганизмы, присутствующие на поверхности, становятся неактивными, в то время как чувствительные питательные вещества внутри продукта сохраняются в нативном состоянии.

На рисунке 1 дан краткий обзор основных реакций, происходящих в пищевых продуктах во время плазменной обработки. Образующиеся активные вещества реагируют на своем пути от источника плазмы к пищевой поверхности с окружающими молекулами, такими как реактивные формы кислорода

(Reactiveoxygenspecies (ROS)) и реактивные формы азота (Reactivenitrogenspecies (RNS)).

Реакция на поверхности может заключаться, во-первых, в абсорбции, во-вторых, в миграции через поверхность (2a) или, в-третьих, в спровоцированной химической реакцией с поверхностью (2b). Может также произойти удаление ROS и RNS путем десорбции, что приведет к последующей возможной рекомбинации между десорбированными и вновь образующимися активными видами после возвращения в газовую фазу (3) [14].

В связи с вышеизложенным, целью исследования является разработка и оценка эффективности мультиразрядного плазматрона для увеличения продолжительности хранения пищевой продукции с учетом механизма действия на микробную клетку.

Объекты и методы исследования

Для разработки плазматрона использовали прототип – установку по генерации низкотемпературной плазмы КБ «Плазмамед», разработанный для применения в области холодноплазменной медицины.

Материалами исследований служили состав газовой смеси, тип разряда, конфигурация электродов. Объектом исследований служили образцы охлажденной свинины, выработанной ЗАО «Уралбройлер», «Родниковский свинокомплекс» (Челябинская область, с. Миасское). Для эксперимента отбирали охлажденную длиннейшую мышцу спины свиней.

Для эксперимента сформировали две группы образцов мяса свинины ($n = 5$) массой 1500 г в каждой. Образцы мяса контрольной группы НПАД не обрабатывали, образцы мяса опытной группы обрабатывали НПАД в течение 15 минут, поместив мясо в специальный контейнер, который заполнили ионизированным аргоном [16], ионизацию газа проводили разрядами частотой от 450 до 550 кГц.

Принципиальная схема установки для обработки охлажденного мяса низкотемпературной аргоновой плазмой атмосферного давления представлена на рисунке 2.

Разряд генерировался в потоке аргона (Ar) в канале (кварцевая трубка внутренним диаметром 8 мм) между двумя игольчатыми электродами из вольфрама, заостренными на концах. Расстояние между электродами 18 мм. Скорость потока газа 0,4–0,6 м/с.

Газ (Аргон – Ar, ГОСТ 10157 – 2016 Аргон газообразный и жидкий. Технические условия) подавался из баллона объемом 10 литров. Давление в баллоне во время экс-

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ХРАНЕНИЯ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ ПУТЕМ ОБРАБОТКИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ГАЗОВОЙ ПЛАЗМОЙ

перимента 145–135 атм. Избыточное давление в понижающем редукторе 0,1–0,2 атм. Скорость потока газа в разрядном канале регулировалась регулятором расходомера газа (LZM 1–5). Точность регулировки 0,1 л/мин.

Ионизация аргона в разрядном канале достигалась стримерными разрядами частотой 450–550 КГц. Напряжение между электродами – 12–14 Кв. Мощность режима работы высоковольтного генератора низкотемпературной аргоновой плазмой атмосферного давления в данном эксперименте – 25–30 Вт.

Источником напряжения в эксперименте являлся генератор оригинальной конструкции. Ионизированный аргон подавался по гибкой силиконовой трубке внутренним диаметром 10 мм и длиной 120 мм в контейнер объемом 3 л, в котором находился обрабатываемый образец мяса. Образец помещался в контейнер при комнатной температуре (21 °С). Температура образцов перед началом эксперимента 8 °С.

Время обработки каждого образца определялось по таймеру с точностью до 10 секунд. Перед началом отсечки времени обработки образцов низкотемпературной аргоновой плазмой атмосферного давления контейнер заполнялся ионизированным аргоном в течение примерно 2 минут. Степень замещения воздуха в контейнере ионизированным аргоном оценивалась визуально по степени наполнения полиэтиленового пакета, герметично присоединенного к выпускному патрубку контейнера, вытесненным из контейнера воздухом. После наполнения полиэтиленового пакета он отсоединялся от патрубка, и включался таймер отсчета времени обработки образца. После окончания заданного времени обработки отключалась подача аргона, герметично закрывался выходной патрубок контейнера, отсоединялась гибкая силиконовая трубка подачи аргона, герметично закрывался впускной патрубок контейнера, выключался плазмообразующий генератор.

После этого контейнеры с образцами помещались на хранение в переносной холодильник для транспортировки к месту хранения при температуре от 0 до 4 °С.

Оценку эффективности работы устройства проводили путем исследования микробной обсемененности охлажденного мяса, обработанного НПАД.

После обработки и по истечении 15 суток хранения опытные и контрольный образцы отправили на микробиологические исследования в испытательную лабораторию государственного бюджетного учреждения Свердловской области «Свердловская областная

ветеринарная лаборатория». Определяли бактерии рода *Listeria monocytogenes* по ГОСТ 32031-2012 [17], количество бактерий группы кишечных палочек (БГКП) (колиформы) по ГОСТ 31747-2012 [18], бактерии рода *Salmonella* ГОСТ 31659-2012 (ISO 6579:2002) [19], количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) по ГОСТ 10444.15-94 [20].

Результаты исследований

Разработанная экспериментальная установка для генерации НПАД – многоэлектродный комбинированный плазмотрон, продуцирующий низкотемпературную плазму заданного плазмохимического состава на основе ранее разработанной установки КБ «Плазмамед» для применения в медицинских целях (патент № RU 2732218 С1 [21]). Установка представляет собой многоступенчатый резонансный плазмотрон оригинальной конструкции, позволяющий получать одновременно различные виды плазмы, такие как плазма диэлектрического барьерного разряда (DBD), коронные разряды, дуговые разряды и атмосферные плазменные струи, с использованием различных газов и их смесей, таких как азот, кислород, гелий и аргон, а также окружающий воздух. Разработанная установка позволяет комбинировать виды и режимы воздействия НПАД в процессе обработки в очень широких пределах в зависимости от технологической задачи по обработке парного и охлажденного мяса.

В работе использована установка для генерации НПАД в разных условиях (состав газовой смеси, тип разряда, конфигурация электродов, температура, время воздействия и т. д.). За счет применения в одном приборе нескольких видов высокочастотного электромагнитного продуцирования плазмы удалось существенно упростить и в перспективе удешевить стоимость готового устройства, автоматизировать режимы его работы.

Конструктивные решения представляемого устройства позволяют одновременно производить взаимозависимые обработки мяса и упаковки низкотемпературной плазмой атмосферного давления заданного плазмохимического состава и заданных физических характеристик.

На рисунке 3 показана принципиальная схема устройства. Предлагаемая схема плазматрона представляет из себя серию последовательных разрядников, связанных между собой посредством высокочастотных резонансных трансформаторов с управлени-

ем посредством положительной и отрицательной обратной связи. Это позволяет произвольно использовать производство различных комбинаций НПАД с оптимальными характеристиками состава ROS и RNS, образующихся в результате диссоциации газообразных молекул во время генерации плазмы, в зависимости от технологических требований обработки.

Проведена оценка эффективности разработанного оборудования для увеличения продолжительности хранения пищевой продукции на примере охлажденного мяса. Уста-

новлено положительное влияние обработки охлажденного мяса НПАД на сохраняемость.

В таблице 1 представлены микробиологические показатели охлажденного мяса через 15 суток хранения.

Так, образцы мяса контрольной группы через 15 суток хранения по микробиологическим показателям не соответствовали требованиям ТР ТС 034/2013 [22]. КМАФАнМ контрольной группы составило $5,6 \times 10^7$ КОЕ/г и обнаружены колиформы, в опытной группе – $1,1 \times 10^3$ КОЕ/г, БГКП не обнаружены.

Таблица 1 – Микробиологические показатели охлажденного мяса через 15 суток хранения

Table 1 – Microbiological indicators of chilled meat after 15 days of storage

Группа	Наименование показателя			
	КМАФАнМ, не более, КОЕ/г	БГКП (колиформы), не допускаются в массе продукта, г	Бактерии рода <i>Salmonella</i> , не допускаются в массе продукта, г	<i>Listeriamonocytogenes</i> , не допускаются в массе продукта, г
	Требования ТР ТС 034/2013 «О безопасности мяса и мясной продукции»			
1 группа (контроль)	$5,6 \cdot 10^7$	Обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены
2 опытная группа	$1,1 \cdot 10^3$	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены

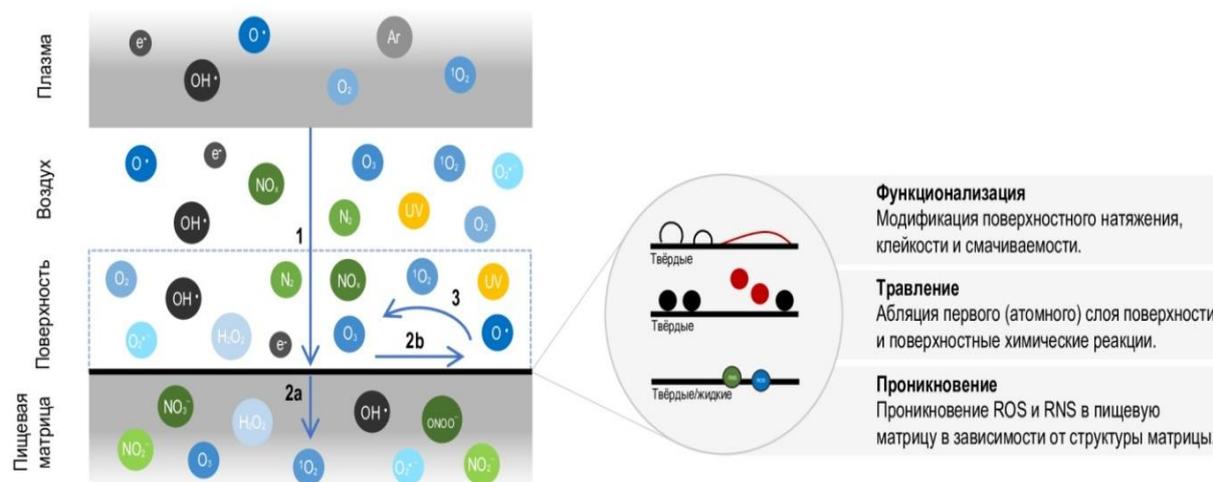


Рисунок 1 – Схема отдельных воздействий холодной плазмы на твердые и жидкие пищевые системы. Адаптировано из работы Surowskyetal., 2016 [15]

Figure 1 – Scheme of individual effects of cold plasma on solid and liquid food systems. Adapted from Surowskyetal., 2016 [15]

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ХРАНЕНИЯ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ ПУТЕМ ОБРАБОТКИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ГАЗОВОЙ ПЛАЗМОЙ

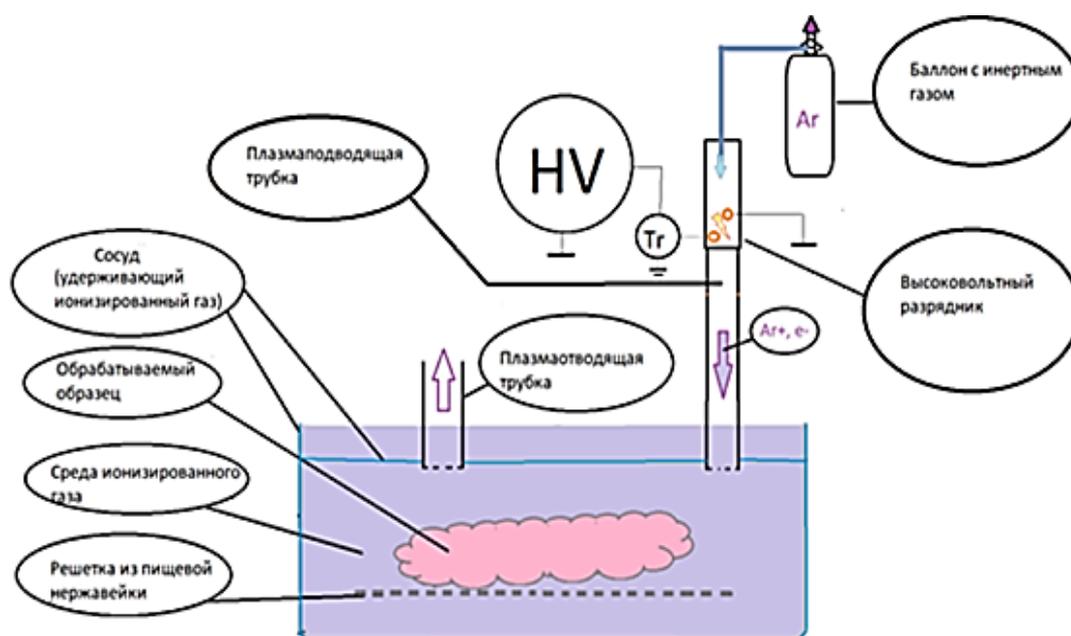


Рисунок 2 – Принципиальная схема обработки пищевой продукции НПАД

Figure 2 – Schematic diagram of food processing by NPAD

На рисунке 4 представлен механизм действия НПАД на микробную клетку, реализованный в нашем эксперименте.

Известно, что ROS, включая синглетный кислород 1O_2 , гидроксил радикал $\cdot OH$, гидропероксил радикал $HO_2\cdot$, супероксидный анион-радикал $\cdot OO^-$, пероксид водорода HO_2H

и озон O_3 и RNS – оксид азота $NO\cdot$, радикал диоксида азота $\cdot NO_2$, пероксинитрит $ONOO^-$, пероксинитрозную кислоту $OONOH$ в плазме обладают антимикробными свойствами. ROS и RNS в НПАД действуют через различные механизмы на грамположительные и грамотрицательные бактерии.

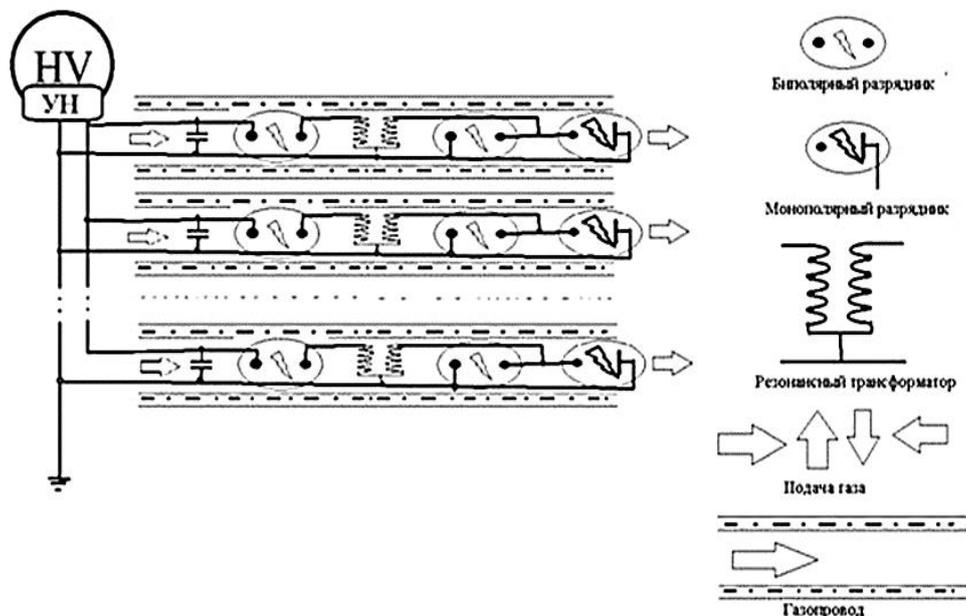


Рисунок 3 – Принципиальная схема устройства для увеличения продолжительности хранения пищевой продукции путем обработки низкотемпературной газовой плазмой

Figure 3 – Schematic diagram of a device for increasing storage duration food products by processing with low-temperature gas plasma

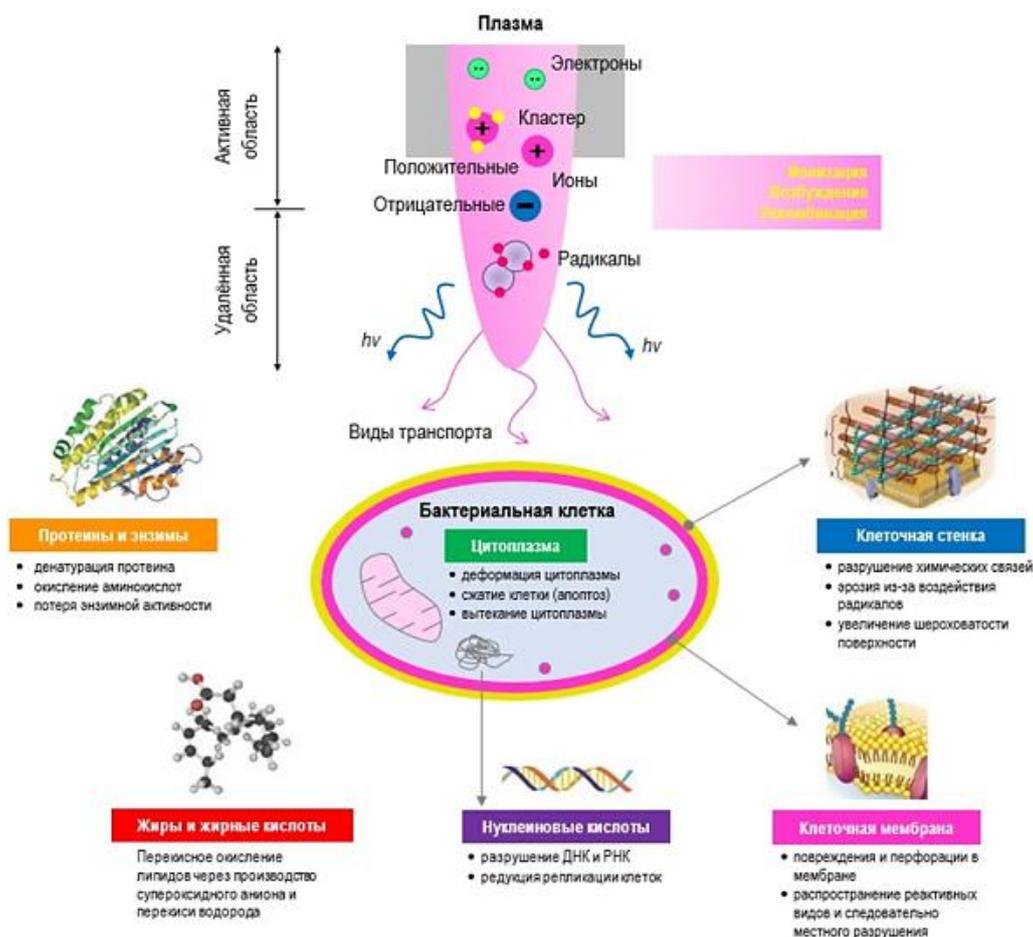


Рисунок 4 – Механизм действия НПАД на микробную клетку, реализованный в эксперименте

Figure 4 – The mechanism of action of NPAD on a microbial cell, realized in the experiment

Эффективность обработки мяса НПАД объясняется комплексным действием компонентов НПАД на клетки микроорганизмов, усиливаются микробицидные эффекты холодной плазмы на бактерии, что, по-видимому, является главным образом результатом окислительного повреждения внутриклеточных компонентов, в частности ДНК [23].

Также ROS эффективно действуют и разрушают клеточные стенки бактерий, расщепляя С–О, С–Н и С–С связи пептидогликанов и окисляя липиды в липополисахаридах. Бактерицидные эффекты воздействия НПАД связаны с разрушением клеточной стенки через окислительное повреждение.

Заключение

В результате проведенных исследований разработан многоразрядный комбинированный плазматрон, продуцирующий низко-

температурную плазму заданного плазмохимического состава для обработки пищевой продукции.

Плазматрон позволяет получать различные виды плазмы (плазма диэлектрического барьерного разряда, коронные разряды, дуговые разряды и атмосферные плазменные струи) с использованием различных газов и комбинировать виды и режимы воздействия низкотемпературной газовой плазмы атмосферного давления в процессе обработки мясopодуKтов. В установке обеспечивается регуляция интенсивности обработки, времени экспозиции с учетом химического состава пищевых продуктов, в частности, содержания влаги.

Эффективность разработанного устройства доказана в эксперименте по исследованию продолжительности хранения охлажденного мяса, обработанного НПАД на спроектированном устройстве.

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ХРАНЕНИЯ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ ПУТЕМ ОБРАБОТКИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ГАЗОВОЙ ПЛАЗМОЙ

В результате исследований установлено, что обработка НПАД охлажденного мяса существенно снижает микробную обсемененность. В контрольных образцах, необработанных НПАД, микробное обсеменение превышает установленные требованиями ТР ТС 034/2013, также в контрольных (необработанных) образцах обнаружены колиформы, что не допускается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hassoun A. Monitoring thermal and non-thermal treatments during processing of muscle foods: A comprehensive review of recent technological advances / A. Hassoun, S. Ojha, B. Tiwari, T. Rustad, H. Nilsen, K. Heia, D. Cozzolino, A. El-Din Bekhit, A. Biancolillo, J.P. Wold, // *Applied Sciences (Switzerland)* – 2020. – № 10 (19). – Article № 6764.
2. Rossow M. Effect of cold atmospheric pressure plasma treatment on inactivation of *Campylobacter jejuni* on chicken skin and breast fillet / M. Rossow, M. Ludewig, P.G. Braun // *LWT – Food Science and Technology*. – 2018. – № 91. – P. 265–270.
3. Rothrock Jr.M.J. In-package inactivation of pathogenic and spoilage bacteria associated with poultry using dielectric barrier discharge-cold plasma treatments / M.J.Jr. Rothrock, H. Zhuang, K.C. Lawrence, B.C. Bowker, G.R. Gamble, K.L. Hiatt // *Current Microbiology*. – 2017. – № 74 (2). – P. 149–158.
4. Roh S.H. Effects of the treatment parameters on the efficacy of the inactivation of *Salmonella* contaminating boiled chicken breast by in-package atmospheric cold plasma treatment / S.H. Roh, S.Y. Lee, H.H. Park, E.S. Lee, S.C. Min // *International Journal of Food Microbiology*. – 2019. – № 293. – P. 24–33.
5. Zhuang H. In-package antimicrobial treatment of chicken breast meat with high voltage dielectric barrier discharge–electric voltage effect / H. Zhuang, M.J.Jr. Rothrock, K.L. Hiatt, K.C. Lawrence, G.R. Gamble, B.C. Bowker, K.M. Keener // *Journal of Applied Poultry Research*. – 2019. – № 28 (4). – P. 801–807.
6. Zhang R. Bacterial decontamination of water by bipolar pulsed discharge in a gas-liquid-solid three-phase discharge reactor / R. Zhang, L. Wang, Y. Wu, Z. Guan, Z. Jia // *IEEE Transactions on Plasma Science*. – 2006. – № 34 (4). – P. 1370–1374.
7. Ikawa S. Effects of pH on bacterial inactivation in aqueous solutions due to low-temperature atmospheric pressure plasma application / S. Ikawa, K. Kitano, S. Hamaguchi // *Plasma Processes and Polymers*. – 2010. – № 7 (1). – P. 33–42.
8. Traylor M.J. Long-term antibacterial efficacy of air plasma-activated water / M.J. Traylor, M.J. Pavlovich, S. Karim, P. Hait, Y. Sakiyama, D.S. Clark, D.B. Graves // *Journal of Physics D: Applied Physics*. – 2011. – № 44 (47). – Article № 472001.
9. Ercan U.K. Nonequilibrium plasma-activated antimicrobial solutions are broad-spectrum and retain their efficacies for extended period of time / U.K. Ercan, H. Wang, H. Ji, G. Fridman, A.D. Brooks, S.G. Joshi //

Plasma Processes and Polymers. – 2013. – № 10 (6). – P. 544–555.

10. Zhang Q. A study of oxidative stress induced by non-thermal plasma-activated water for bacterial damage / Q. Zhang, Y. Liang, H. Feng, R. Ma, Y. Tian, J. Zhang, J. Fang // *Applied Physics Letters*. – 2013. – № 102 (20). – Article № 203701.

11. Xiong Z. How deep can plasma penetrate into a biofilm / Z. Xiong, T. Du, X. Lu, Y. Cao, Y. Pan // *Applied Physics Letters*. – 2011. – № 98. – Article № 221503.

12. Pei X. Inactivation of a 25.5 μm *Enterococcus faecalis* biofilm by a room-temperature, battery-operated, handheld air plasma jet / X. Pei, X. Lu, J. Liu, D. Liu, Y. Yang, K. Ostrikov, P.K. Chu, Y. Pan // *Journal of Physics D: Applied Physics* – 2012. – № 45 (16). – Article № 165205.

13. Moller I.M. Oxidative modifications to cellular components in plants / I.M. Moller, P.E. Jensen, A. Hansson // *Annual Review of Plant Biology*. – 2007. – № 58 (1). – P. 459–481.

14. D'angelo D. Plasma-surface interaction. In: *Plasma Technology for Hyperfunctional Surfaces: Food, Biomedical and Textile Applications* / H. Rauscher, M. Perucca, G. Buyle, (Eds.) // Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. – 2010. – P. 63–77.

15. Surowsky B. Chapter 7 – Cold plasma interactions with food constituents in liquid and solid food matrices. In: *Cold Plasma in Food and Agriculture* / B. Surowsky, S. Bußler, O.K. Schlüter // Academic Press, San Diego. – 2016. – P. 179–203.

16. ГОСТ 10157–2016. Аргон газообразный и жидкий. Технические условия – Введ. 2017–07–01. – М. : Стандартинформ, 2019. – 23 с.

17. ГОСТ 32031-2012 Продукты пищевые. Методы выявления бактерий *Listeria monocytogenes*. – Введ. 2014–07–01. – М. : Стандартинформ, 2014. – 29 с.

18. ГОСТ 31747-2012 Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий) – Введ. 2013–07–01. – М. : Стандартинформ, 2013. – 20 с.

19. ГОСТ 31659-2012 Продукты пищевые. Метод выявления бактерий рода *Salmonella*. – Введ. 2013–07–01. – М. : Стандартинформ, 2014. – 20 с.

20. ГОСТ 10444.15–94. Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов. – Введ. 1996–01–01. – М. : Стандартинформ, 2010. – 7 с.

21. Устройство для обработки ран и остановки кровотечений с применением низкотемпературной плазмы атмосферного давления: пат. 2732218 Рос. Федерация № 2019134463 ; заявл. 24.10.2019; опубл. 14.09.2020, Бюл. № 26. – 2 с.

22. ТР ТС 034/2013 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности мяса и мясной продукции» [принят решением Совета Евразийской экономической комиссии от 9 октября 2013 года № 68]. – Доступ из информационной сети «Техэксперт». – Текст : электронный.

23. Misra N.N. Applications of cold plasma technology for microbiological safety in meat industry / N.N. Misra, C. Jo // Trends in Food Science & Technology Elsevier Ltd. – 2017. – № 64. – P. 74–86.

Информация об авторах

Н. Ю. Москаленко – аспирант 2 курса кафедры пищевой инженерии Уральского государственного экономического университета.

С. Л. Тихонов – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой пищевой инженерии Уральского государственного экономического университета.

Н. В. Тихонова – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры пищевой инженерии Уральского государственного экономического университета.

О. А. Кудряшова – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института птицеперерабатывающей промышленности – филиал ФНЦ «ВНИТИП» РАН (ВНИИПП).

Л. С. Кудряшов – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБНУ ФНЦ Пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН.

REFERENCES

1. Hassoun, A., Ojha, S., Tiwari, B., Rustad, T., Nilsen, H., Heia, K., Cozzolino, D., El-Din Bekhit, A., Biancolillo & A., Wold, J.P. (2020). Monitoring thermal and non-thermal treatments during processing of muscle foods: A comprehensive review of recent technological advances // Applied Sciences (Switzerland). – 10 (19). – Article № 6764.
2. Rossow, M, Ludewig, M. & Braun, P.G. (2018). Effect of cold atmospheric pressure plasma treatment on inactivation of *Campylobacter jejuni* on chicken skin and breast fillet. LWT // Food Science and Technology. – (91). – 265–270.
3. Rothrock, Jr.M.J., Zhuang, H., Lawrence, K.C., Bowker, B.C., Gamble, G.R. & Hiatt, K.L. (2017). In-package inactivation of pathogenic and spoilage bacteria associated with poultry using dielectric barrier discharge-cold plasma treatments // Current Microbiology. – 74 (2). – 149–158.
4. Roh, S.H., Lee, S.Y., Park, H.H., Lee, E.S. & Min, S.C. (2019). Effects of the treatment parameters on the efficacy of the inactivation of *Salmonella* contaminating boiled chicken breast by in-package atmospheric cold plasma treatment // International Journal of Food Microbiology. – (293). – 24–33.
5. Zhuang, H., Rothrock, M.J.Jr., Hiatt, K.L., Lawrence, K.C., Gamble, G.R., Bowker, B.C. & Keener, K.M. (2019). In package antimicrobial treatment of chicken breast meat with high voltage dielectric barrier discharge – electric voltage effect // Journal of Applied Poultry Research. – 28 (4). – 801–807.

6. Zhang, R., Wang, L., Wu, Y., Guan, Z. & Jia, Z. (2006). Bacterial decontamination of water by bipolar pulsed discharge in a gas-liquid-solid three-phase discharge reactor // IEEE Transactions on Plasma Science. – 34 (4). – 1370–1374.

7. Ikawa, S., Kitano, K. & Hamaguchi, S. (2010). Effects of pH on bacterial inactivation in aqueous solutions due to low-temperature atmospheric pressure plasma application // Plasma Processes and Polymers. – 7 (1). – P. 33–42.

8. Traylor, M.J., Pavlovich, M.J., Karim, S., Hait, P., Sakiyama, Y., Clark, D.S. & Graves, D.B. (2011). Longterm antibacterial efficacy of air plasma-activated water // Journal of Physics D : Applied Physics. – 44 (47). – Article № 472001.

9. Ercan, U.K., Wang, H., Ji, H., Fridman, G., Brooks, A.D. & Joshi S.G. (2013). Nonequilibrium plasma-activated antimicrobial solutions are broad-spectrum and retain their efficacies for extended period of time // Plasma Processes and Polymers. – 10 (6), 544–555.

10. Zhang, Q., Liang, Y., Feng, H., Ma, R., Tian, Y., Zhang, J. & Fang, J. (2013). A study of oxidative stress induced by non-thermal plasma-activated water for bacterial damage // Applied Physics Letters. – 102 (20). – Article № 203701.

11. Xiong, Z., Du, T., Lu, X., Cao, Y. & Pan, Y. (2011). How deep can plasma penetrate into a biofilm // Applied Physics Letters. – (98). – Article № 221503.

12. Pei, X., Lu, X., Liu, J., Liu, D., Yang, Y., Ostrikov, K., Chu, P.K. & Pan Y. (2012). Inactivation of a 25.5 μm *Enterococcus faecalis* biofilm by a room-temperature, battery-operated, handheld air plasma jet // Journal of Physics D: Applied Physics. – 45 (16). – Article № 165205.

13. Moller, I.M., Jensen, P.E. & Hansson, A. (2007). Oxidative modifications to cellular components in plants // Annual Review of Plant Biology. – 58 (1). – 459–481.

14. D'angelo, D. (2010). Plasma-surface interaction. H. Rauscher, M. Perucca, G. Buyle (Eds.) Plasma Technology for Hyperfunctional Surfaces: Food, Biomedical and Textile Applications (P. 63–77). Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. doi.org/10.1002/9783527630455.ch3.

15. Surowsky, B., Bußler, S. & Schlüter O.K. (2016). Chapter 7 – Cold plasma interactions with food constituents in liquid and solid food matrices. In: Cold Plasma in Food and Agriculture (P. 179–203) San Diego: Academic Press.

16. Interstate council for standardization, metrology and certification. (2019). Argon is gaseous and liquid. Technical specifications (HOST № 10157-2016). Retrieved from <http://docs.cntd.ru/document/554607931>.

17. Interstate council for standardization, metrology and certification. (2014). Food products. Methods for detecting *Listeria monocytogenes* bacteria (HOST № 32031–2012). Retrieved from <http://docs.cntd.ru /document/1200105310>.

18. Interstate council for standardization, metrology and certification. (2013). Food products. Methods for detecting and determining the number of bacteria of the *Escherichia coli* group (coliform bacteria).

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ХРАНЕНИЯ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ ПУТЕМ ОБРАБОТКИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ГАЗОВОЙ ПЛАЗМОЙ

(HOST 31747-2012). Retrieved from <http://docs.cntd.ru/document/1200098583>.

19. Interstate council for standardization, metrology and certification. (2013). Food products. Method for detection of bacteria of the genus *Salmonella* (HOST 31659-2012). Retrieved from <http://docs.cntd.ru/document/1200098239>.

20. Interstate council for standardization, metrology and certification. (1996). Food products. Methods for determining the number of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms (HOST 10444.15-94). Retrieved from <http://docs.cntd.ru/document/1200022648>.

21. Device for treating wounds and stopping bleeding with the use of low-temperature plasma of atmospheric pressure. (2019). *Patent RU 2732218C1 IPC A61B 18/04 (2006.01) Application: 2019134463, 24.10.2019.*

22. Council of the Eurasian economic commission. Technical Regulations of the Customs Union «On the safety of meat and meat products». (TR CU 034/2013). Retrieved from <http://docs.cntd.ru/document/499050564>.

23. Misra, N.N. & Jo C. (2017). Applications of cold plasma technology for microbiological safety in

meat industry // Trends in Food Science & Technology Elsevier Ltd, (64). – 74–86.

Information about the authors

N. Yu. Moskalenko – 2nd year postgraduate student of the Department of Food Engineering of the Ural State University of Economics.

S. L. Tikhonov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Food Engineering of the Ural State University of Economics.

N. V. Tikhonova – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Food Engineering of the – Ural State University of Economics.

O. A. Kudryashova – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of the All-Russian Scientific Research Institute of Poultry Processing Industry.

L. S. Kudryashov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of the V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 21.01.2021; одобрена после рецензирования 12.02.2021; принята к публикации 17.02.2021.

The article was received by the editorial board on 21 Jan 21; approved after reviewing on 12 Feb 21; accepted for publication on 17 Feb 21.

Научная статья

05.18.04 – Технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств (технические науки)
УДК 664.4

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.011

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОРОШКА ИЗ ЯБЛОК СУБЛИМАЦИОННОЙ СУШКИ В РЕЦЕПТУРЕ МЯСНОГО ПРОДУКТА

Александр Анатольевич Лукин¹, Юлия Александровна Бец²,
Наталья Леонидовна Наумова³

^{1,2,3} Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

¹ lukin3415@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4753-3210>

² bets.jul@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9572-130X>

³ n.naumova@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0586-6359>

Аннотация. Известно, что яблочный порошок используется в пищевой промышленности в качестве обогащающей добавки. Цель исследований – изучение возможности применения порошка из яблок сублимационной сушки в рецептуре мясного продукта. Объекты исследований: голень охлажденная (полуфабрикаты из мяса цыплят-бройлеров), яблоки сублимационной сушки молотые, фаршированные мясные изделия. Изучен нутриентный состав сырья и готовых продуктов. Установлено, что яблочный порошок богат сахарами, органическими кислотами и пищевыми волокнами, дополнительно содержит Ag, Au, B, Be, Cu, Ga, Mn, Mo, а по количеству Ca и Fe превосходит мясо птицы в 2–2,4 раза. Голени охлажденные выгодно отличаются по содержанию белка (в 7,6 раза) и жира (в 41,3 раза), а так же Na (в 24 раза), P (в 2,5 раза), K (в 2 раза), Mg (в 1,9 раза), Se (на 33,8 %), Zn (на 17,3 %). Замещение мясного сырья яблочным порошком в дозировке 7 % сформировало у готовых изделий приятные яблочные ноты в запахе, легкий кисловато-сладковатый тон во вкусе, карамельные оттенки в цвете. В запеченных изделиях модифицированной рецептуры содержится больше Fe и Ca (на 7–7,5 %), а также Ag, Au, B, Be, Cu, Ga, Mn, Mo и пищевых волокон на фоне снижения количества белка и жира на 1,2 % и 0,6 % соответственно.

Ключевые слова: фаршированные мясные изделия, полуфабрикаты из мяса цыплят-бройлеров, яблочный порошок, химический состав.

Для цитирования: Лукин А.А., Бец Ю.А., Наумова Н.Л. О возможности использования порошка из яблок сублимационной сушки в рецептуре мясного продукта // Ползуновский вестник. 2021. № 1. С. 84–90. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.011.

Original article

ABOUT THE POSSIBILITY OF USING APPLE POWDER, OBTAINED BY FREEZE DRYING, IN A MEAT PRODUCT FORMULATION

Alexander A. Lukin¹, Yulia A. Betz², Natalia L. Naumova³

^{1,2,3} South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

¹ lukin3415@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4753-3210>

² bets.jul@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9572-130X>

³ n.naumova@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0586-6359>

©Лукин А.А., Бец Ю.А., Наумова Н.Л., 2021

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОРОШКА ИЗ ЯБЛОК СУБЛИМАЦИОННОЙ СУШКИ В РЕЦЕПТУРЕ МЯСНОГО ПРОДУКТА

Abstract. *It is known that apple powder is used in the food industry as a fortifying supplement. The purpose of the research is to study the possibility of using freeze-dried apple powder in the formulation of a meat product. Objects of research are a chilled drumstick (semi-finished products from meat of broiler chickens), freeze-dried ground apples, stuffed meat products. The nutrient composition of raw materials and finished products were studied. It was found that the apple powder is rich in sugars, organic acids and dietary fiber, additionally contains Ag, Au, B, Be, Cu, Ga, Mn, Mo, and content of Ca and Fe exceed its content in poultry meat by 2-2.4 times. Chilled shins differ favorably in protein content (7,6 times more) and fat (41,3 times more), as well as Na (24 times more), P (2,5 times more), K (2 times more), Mg (1,9 times more), Se (33,8 %), Zn (17,3 %). Substitution of raw meat with apple powder in a dosage of 7 % formed pleasant hints of apple in the smell of finished products, a slight sourish-sweetish tone in taste, and caramel tint in color. The baked products of the modified formulation contain more Fe and Ca (by 7–7,5 %), as well as Ag, Au, B, Be, Cu, Ga, Mn, Mo and dietary fiber against a decrease in the amount of protein and fat by 1,2 % and 0,6 %.*

Keywords: *stuffed meat products, semi-finished products from meat of broiler chickens, apple powder, chemical composition.*

For citation: Lukin, A.A., Betz, Yu.A. & Naumova, N.L. (2021). About the possibility of using apple powder, obtained by freeze drying, in a meat product formulation. *Polzunovskiy vestnik*, 1, 84–90. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.011

Введение

Наиболее эффективным путем ликвидации дефицитов незаменимых пищевых веществ в рационах питания и повышения сопротивляемости организма к вредным факторам является разработка рецептур, технологий и массовое внедрение в производство пищевой продукции на основе натурального, высококачественного и безопасного сырья. Особое внимание при этом уделяется выбору природных (натуральных) источников пищевых веществ [1].

Известно, что яблочный порошок содержит комплекс биологически активных веществ: витаминов группы В, С, β-каротина, минеральных компонентов (К, Са, Р, Mg, Fe), полифенольных соединений (катехины, лейкоантоцианы), органических кислот (яблочная, янтарная, лимонная), фенолкарбоновых кислот (хлорогеновая, протокатехиновая, оротовая, никотиновая, галловая, кофейная), моносахаридов (галактоза, фруктоза, манноза, арабиноза), а также пектиновых веществ и пищевых волокон [2–5].

В этой связи нашла широкое внедрение продукция с добавлением яблочного порошка: кексы [6], пшеничный хлеб [7], хлебцы [2], шоколад [8], котлеты [9].

Цель исследований – изучение возможности применения порошка из яблок сублимационной сушки в рецептуре мясного продукта.

Объекты и методы исследований

Объектами исследований выступили:

- голень охлажденная (полуфабрикаты из мяса цыплят-бройлеров) производства ОАО «Турбаслинские бройлеры» (Республика Башкортостан, г. Благовещенск), выпускаемая на соответствие качества требованиям ГОСТ 31962-13;

- яблоки сублимационной сушки молотые производства ПАО «Сибирский гостинец» (Псковская обл., д. Моглино), выпускаемые по ТУ 10.39.25-001-34457722-18;

- фаршированные мясные изделия «Куриные кармашки с маслом и травами», приготовленные по ТУ, РЦ 9214-013-64474310-12 из голени цыплят-бройлеров. Контрольные образцы готовили по традиционной рецептуре (таблица 1), опытные – с замещением 3 (опыт 1), 5 (опыт 2) и 7 % (опыт 3) массы голени куриной на молотые яблоки сублимационной сушки. Дозировки яблочного порошка были скорректированы с учетом известных данных, опубликованных в ряде научных работ [6–9]. Нетрадиционный материал вносили на стадии фарширования голени вместе с остальным растительным сырьем.

Опытные пробы куриных кармашков представляли собой голени птицы без кости с кожей, плоской формы, с продольным разрезом в виде кармана, внутри с начинкой, состоящей из масла сливочного, смеси трав и молотых сушеных яблок. Разрез был соединен шпажками. Изделия запекали при температуре 200 °С в течении 20 минут.

Таблица 1 – Рецептура лабораторных образцов куриных кармашков

Table 1 – Recipe for laboratory samples of chicken pockets

Компоненты	Количество, кг			
	контроль	опыт 1	опыт 2	опыт 3
Голень куриная бескостная	80,0	77,6	76,0	74,4
Яблоки сублимационной сушки молотые	–	2,4	4,0	5,6
Масло сливочное 72,5 %-ной жирности	19,5	19,5	19,5	19,5
Смесь трав «Летний сад»	0,5	0,5	0,5	0,5

В растительном сырье содержание веществ определяли: белка и жира – по МУ 4237-86, сахаров – по ГОСТ 8756.13-87, крахмала – классическим методом [10], органических кислот – по М 04-47-12, в мясном сырье и изделиях: белка – по ГОСТ 25011-17, жира – по ГОСТ 23042-15, влаги – по ГОСТ 9793-16, поваренной соли – ГОСТ 9957-15, дегустационную оценку – по ГОСТ 9959-15 по 9-балльной шкале. Содержание пищевых волокон во всех пробах изучали по традиционной методике [10], содержание минеральных элементов – на эмиссионном спектрометре iCAP 7200 DUO.

Результаты исследований

На первом этапе изучали пищевую ценность исследуемого сырья в сравнительном аспекте для установления эффективности

замещения голени куриной бескостной на молотые яблоки сублимационной сушки.

В яблочном порошке выявлено (таблица 2) относительно высокое содержание сахаров, органических кислот (с количественным превосходством яблочной) и пищевых волокон (с преобладанием нерастворимых). Общеизвестно, что нелетучие кислоты, содержащиеся во фруктах, не только отвечают за вкусовую окраску и аромат готовых изделий, но и способствуют выработке желудочного сока, обладают желчегонным действием [11], а нерастворимые (лигнин, целлюлоза, хитин) и растворимые (пектин, инулин) пищевые волокна способны эффективно связывать ионы тяжелых металлов и органические вещества [12], что предохраняет положительное воздействие на организм человека нового компонента в рецептуре куриных кармашков.

Таблица 2 – Нутриентный состав сырья

Table 2 – Nutrient composition of raw materials

Показатель	Результаты исследований сырья	
	голени	сушеные молотые яблоки
Массовая доля белка, %	18,30 ± 1,60	2,41 ± 0,19
Массовая доля жира, %	6,20 ± 0,50	0,15 ± 0,01
Содержание сахаров, %	–	63,70 ± 4,12
Содержание крахмала, %	–	0,60 ± 0,03
Содержание органических кислот, мг/кг, в т. ч.:		
- щавелевой		22,11 ± 1,44
- винной		80,03 ± 6,21
- яблочной	–	3652,82 ± 211,06
- лимонной		174,70 ± 13,22
- янтарной		369,52 ± 20,35
- уксусной		222,92 ± 16,38
Содержание пищевых волокон, г/100 г, в т.ч.:		
- растворимых	–	12,3 ± 0,4
- нерастворимых		4,1 ± 0,2
		8,2 ± 0,5

Минеральный состав нетрадиционного сырья оказался богаче, чем у голени цыплят-бройлеров (таблица 3) по числу элемен-

тов. Так, растительный материал дополнительно содержал Ag, Au, В, Ве, Сu, Ga, Mn, Mo и др., а по количеству микронутриентов,

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОРОШКА ИЗ ЯБЛОК СУБЛИМАЦИОННОЙ СУШКИ В РЕЦЕПТУРЕ МЯСНОГО ПРОДУКТА

имеющих важное физиологическое значение для организма человека, превосходил мясо птицы по Ca (в 2 раза), Fe (в 2,4 раза), Si (на 26,7 %). Обнаруженные уровни тяжелых металлов – As, Cd, Pb в яблочном порошке не превысили регламентированных норм ТР ТС 021/2011.

Голени охлажденные выгодно отличались как по содержанию неорганических веществ – Na (больше в 24 раза), P (в 2,5 раза),

K (в 2 раза), Mg (в 1,9 раза), Se (на 33,8 %), Zn (на 17,3 %), так и органических – белка (в 7,6 раза) и жира (в 41,3 раза).

Таким образом, замещение мясного сырья на исследуемый растительный материал является эффективным лишь в отношении повышения уровней пищевых волокон, органических кислот, сахаров, а также Ca и Fe в готовом запеченном продукте.

Таблица 3 – Минеральная ценность сырья

Table 3 - Mineral value of raw materials

Определяемый элемент	Результаты исследований сырья, мг/кг	
	голени	сушеные молотые яблоки
Ag	–	0,324 ± 0,020
Al	1,390 ± 0,092	1,199 ± 0,091
As	–	0,064 ± 0,003
Au	–	0,545 ± 0,034
B	–	7,263 ± 0,422
Be	–	0,031 ± 0,002
Ca	71,550 ± 6,610	147,205 ± 11,036
Cd	–	0,015 ± 0,001
Cr	0,087 ± 0,007	–
Cu	–	0,809 ± 0,054
Fe	4,59 ± 0,33	11,053 ± 0,561
Ga	–	0,791 ± 0,038
K	9254,210 ± 731,870	4563,120 ± 204,478
Li	0,017 ± 0,002	–
Mg	262,900 ± 21,450	139,9 ± 10,025
Mn	–	1,529 ± 0,073
Mo	–	0,242 ± 0,010
Na	731,610 ± 53,450	30,540 ± 1,221
Ni	1,070 ± 0,340	–
P	2244,220 ± 204,870	893,403 ± 64,260
Pb	–	0,212 ± 0,010
Sb	0,003 ± 0,001	–
Se	0,290 ± 0,020	0,192 ± 0,009
Si	5,730 ± 0,410	7,818 ± 0,346
Sn	–	0,159 ± 0,007
Te	0,036 ± 0,002	0,822 ± 0,040
Ti	0,074 ± 0,005	0,423 ± 0,027
V	–	0,184 ± 0,008
W	–	3,149 ± 0,116
Zn	13,780 ± 1,240	11,402 ± 0,773

На следующем этапе провели дегустацию лабораторных образцов куриных кармашков, которая позволила установить влияние яблочного порошка на потребительские характеристики продукции (рисунок 1). При этом установлено, что контрольный образец не отличался высокими оценками, выставленными за вкус и запах (7,8–7,9 балла), которые были недостаточно выраженными, пресноватыми.

Добавление растительного сырья в дозировке 7 % изменило в лучшую сторону вкусо-ароматические свойства опытных проб запеченных мясных изделий. Так, появились приятные яблочные ноты в запахе и легкий кисловато-сладковатый тон во вкусе продукции, а, следовательно, увеличились баллы за соответствующие показатели до 9,0. В цвете на разрезе появились карамельные оттенки, что позволило опыту 3 набрать максималь-

ное количество баллов за этот показатель – 9,0. Внешний вид, консистенция и сочность всех проб имели стабильно высокие характеристики.

По результатам балльной оценки получили следующие результаты: контроль $51,1 \pm 1,2$; опыт 1 – $52,4 \pm 1,5$; опыт 2 – $53,4 \pm 1,3$; опыт 3 – $54,0 \pm 1,1$.

В дальнейших исследованиях сравнивали пищевую ценность контроля и опыта 3, как наиболее удачной комбинации мясного и растительного сырья на фоне итоговой дегустационной оценки. Выявлено, что исследуемые образцы не имели существенных отличий в содержании поваренной соли (таблица 4). Но в экспериментальных изделиях дополнительно определено наличие пищевых волокон, что является положительным моментом с позиций современной нутрициологии. При этом содержание влаги имело тен-

денцию к увеличению (на 2,5 %), белка и жира – к снижению (на 1,2 % и 0,6 % соответственно).

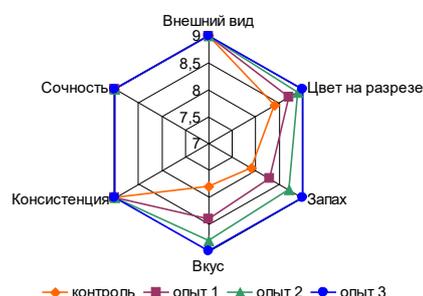


Рисунок 1 – Профилограмма лабораторных образцов куриных кармашков

Figure 1 – Profilogram of laboratory samples of chicken pockets

Таблица 4 – Нутриентный состав лабораторных образцов куриных кармашков

Table 4 – Nutrient composition of laboratory samples of chicken pockets

Показатель	Результаты исследований	
	контроль	опыт 3
Массовая доля влаги, %	$62,0 \pm 1,5$	$64,5 \pm 1,5$
Массовая доля белка, %	$24,8 \pm 1,1$	$23,6 \pm 1,2$
Массовая доля жира, %	$9,7 \pm 0,5$	$9,1 \pm 0,8$
Массовая доля поваренной соли, %	$1,5 \pm 0,2$	$1,5 \pm 0,3$
Содержание пищевых волокон, г/100 г, в т. ч.:		
- растворимых	следы	$0,85 \pm 0,04$
- нерастворимых		$0,25 \pm 0,01$
		$0,56 \pm 0,03$

Изучение минерального состава лабораторных образцов куриных кармашков выявило приоритетность опытной пробы перед контрольной по количеству отдельных микро- и макроэлементов. Так, в запеченных изделиях модифицированной рецептуры содержалось больше Fe и Ca (на 7–7,5 %), так же присутствовали Ag, Au, B, Be, Cu, Ga, Mn, Mo и др. элементы, не выявленные в контроле. Однако уровни эссенциальных макроэлементов Mg и P несколько снизились – на 3–4 %. Количественные характеристики вероятно необходимых для организма человека минеральных элементов (Al, Li, Ni) также имели тенденцию к снижению на 7–11%. Содержание остальных минеральных веществ (Se, Si, Te, Ti, Zn) и в контроле, и в опыте 3 находилось в одном количественном диапазоне.

Выводы

Установлено, что молотые яблоки сублимационной сушки богаты сахарами, органическими кислотами и пищевыми волокна-

ми, дополнительно содержат Ag, Au, B, Be, Cu, Ga, Mn, Mo, а по количеству Ca и Fe превосходят мясо птицы в 2–2,4 раза. Голени охлажденные выгодно отличаются по содержанию Na (больше в 24 раза), P (в 2,5 раза), K (в 2 раза), Mg (в 1,9 раза), Se (на 33,8%), Zn (на 17,3 %), а также белка (в 7,6 раза) и жира (в 41,3 раза). Замещение мясного сырья на яблочный порошок в дозировке 7 % сформировало у готовых изделий приятные яблочные ноты в запахе, легкий кисловато-сладковатый тон во вкусе, карамельные оттенки в цвете. В запеченных изделиях модифицированной рецептуры содержится больше Fe и Ca (на 7–7,5 %), а также Ag, Au, B, Be, Cu, Ga, Mn, Mo и пищевых волокон на фоне снижения количества белка и жира на 1,2 % и 0,6 % соответственно.

Установлена возможность использования молотых яблок сублимационной сушки в рецептуре фаршированных мясных изделий. Модификация рецептуры куриных кармашков позволила получить продукцию с улучшенными потребительскими свойствами.

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОРОШКА ИЗ ЯБЛОК СУБЛИМАЦИОННОЙ СУШКИ В РЕЦЕПТУРЕ МЯСНОГО ПРОДУКТА

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киштыков, Х.Б. Химический состав и лечебно-диетические и профилактические функции плодовоовощных порошков, добавляемых в хлебобулочные изделия из пшеничной муки / Х.Б. Киштыков, Ж.Р. Джаппуева // Аллея науки. – 2017. – Т. 4. – № 9. – С. 789–796.
2. Исследование состава сахаров в хлебцах хрустящих, обогащенных яблочным порошком / Э.А. Пьяникова, И.В. Черемушкина, А.Е. Ковалева, Е.И. Быковская // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2020. – Т. 82. – № 1 (83). – С. 157–163. DOI: <http://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-1-157-163>.
3. Антиоксидантная активность пищевых добавок, полученных из вторичных растительных ресурсов / Н.Н. Корнен, М.В. Лукьяненко, Т.А. Шахрай // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 126. – С. 109–118.
4. Возможности использования сублимированных растительных порошков при производстве зерновых экструдированных продуктов / О.Е. Бакуменко, Е.В. Алексеенко, Н.В. Рубан // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2019. – № 1. – С. 116–129.
5. Определение антиоксидантной активности пектиновых веществ / Н.А. Клебанова, В.А. Седак ова, Н.И. Ярутич, А.В. Клебанов // Здоровье и окружающая среда. – 2017. – № 27. – С. 232–235.
6. Нургалиева, А.А. Применение яблочного порошка в изготовлении мучных кондитерских изделий / А.А. Нургалиева, Л.И. Пусенкова // Аллея науки. – 2017. – Т. 3. – № 10. – С. 241–248.
7. Перфилова, О.В. Разработка нового способа приготовления теста из пшеничной муки высшего сорта с использованием яблочного и тыквенного порошков / О.В. Перфилова // Новые технологии. – 2019. – Вып. 1 (47). – С. 141–148. DOI: [10.24411/2072-0920-2019-10114](http://doi.org/10.24411/2072-0920-2019-10114).
8. Линовская, Н.В. Разработка шоколада с тонкоизмельченными добавлениями / Н.В. Линовская // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2019. – № S9. – С. 114–123.
9. Могильный, М.П. Оценка биологической ценности мясных рубленых изделий с фруктовыми наполнителями / М.П. Могильный, В.И. Саркисова // Успехи современной науки. – 2017. – Т. 2. – № 6. – С. 57–62.
10. Руководство по методам анализа качества и безопасности пищевых продуктов // Под ред. И.М. Скурихина, В.А. Тутельяна. – М.: Брандес, Медицина, 1998. – 342 с.
11. Пищевая химия: 5-е изд., исправленное и дополненное // А.П. Нечаев, С.Е. Траубенберг, А.А. Кочеткова и др. – СПб.: Гиорд, 2012. – 670 с.
12. Сольватационно-координационный механизм сорбции ионов тяжелых металлов целлюлозо-содержащим сорбентом из водных сред / Т.Е. Никифорова, В.А. Козлов, Е.А. Модина // Химия растительного сырья. – 2010. – № 4. – С. 23–30.

Информация об авторах

А. А. Лукин – кандидат технических наук, доцент кафедры «Пищевые и биотехнологии» Южно-Уральского государственного университета.

Ю. А. Бец – аспирант кафедры «Пищевые и биотехнологии» Южно-Уральского государственного университета.

Н. Л. Наумова – магистрант кафедры «Экология и химическая технология» Южно-Уральского государственного университета.

REFERENCES

1. Kishtykov, Kh.B. & Dzhappueva J.R. (2017). Chemical composition and medicinal, dietary and preventive functions of fruit and vegetable powders added to bakery products made from wheat flour. *Science Alley*, 4(9), 789–796.
2. Pyanikova, E.A., Cheryomushkina, I.V., Kovaleva, A.E. & Bykovskaya E.I. (2020). Investigation of the composition of sugars in crispy loaves enriched with apple powder. *Vestnik of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 82(1(83)), 157–163. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-1-157-163>.
3. Kornen, N.N., Lukyanenko, M.V. & Shakhrai T.A. (2017). Antioxidant activity of food additives obtained from secondary plant resources. *Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University*, (126), 109–118. (In Russ.).
4. Bakumenko, O.E., Alekseenko, E.V. & Ruban N.V. (2019). Possibilities of using sublimated vegetable powders in the production of grain extruded products. *Storage and processing of agricultural raw materials*, (1), 116–129. (In Russ.).
5. Klebanova, N.A., Sedakova, V.A., Yarutich, N.I. & Klebanov, A.V. (2017). Determination of antioxidant activity of pectin substances. *Health and Environment*, (27), 232–235. (In Russ.).
6. Nurgalieva, A.A. & Pusenkova, L.I. (2017). The use of apple powder in the manufacture of flour confectionery products. *Alley of Science*, 3(10), 241–248. (In Russ.).
7. Perfilova, O.V. (2019). Development of a new method for preparing dough from premium wheat flour using apple and pumpkin powders. *New technologies*, 1(47), 141–148. (In Russ.). DOI: [10.24411/2072-0920-2019-10114](http://doi.org/10.24411/2072-0920-2019-10114).
8. Linovskaya, N.V. (2019). Development of chocolate with finely ground additions. *Electronic network polythematic journal "Scientific works of KubGTU"*, (S9), 114–123.
9. Mogilny, M.P. & Sarkisova, V.I. (2017). Evaluation of the biological value of minced meat products with fruit fillers. *Successes of modern science*, 2(6), 57–62. (In Russ.).

10. Skurihin, I.M. & Tutel'yan, V.A. (1998). *Guide to methods of analysis of quality and safety of food products*. Moscow: Brandes, Medicine. (In Russ.).
11. Nechaev, A.P., Traubenberg, S.E., Kochetkova, A.A. & others. (2012). *Food chemistry: 5th ed., Revised and supplemented*. SPb. : Giord. (In Russ.).
12. Nikiforova, T.E., Kozlov, V.A. & Modina E.A. (2010). Solvation-coordination mechanism of sorption of heavy metal ions by cellulose-containing sorbent from aqueous media. *Chemistry of vegetable raw materials*, (4), 23–30. (In Russ.).

Information about the authors

A. A. Lukin – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food and Biotechnology, South Ural State University.

Yu. A. Betz – post-graduate student of the Department of Food and Biotechnology, South Ural State University.

N. L. Naumova – Master's student of the Department of Ecology and Chemical Technology, South Ural State University.

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

Статья поступила в редакцию 12.10.2020; одобрена после рецензирования 12.02.2021; принята к публикации 17.02.2021.

The article was received by the editorial board on 12 Oct 20; approved after reviewing on 12 Feb 21; accepted for publication on 17 Feb 21.

Научная статья
05.18.04 – Технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств (технические науки)
УДК 636.087.6
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.012

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СУХИХ ЛИЧИНОК ЗЕЛЁНОЙ МУХИ ПАДАЛЬНИЦЫ *LUCILIA CAESAR* «РЕСУРСОСБЕРЖЕНИЕ / ДИВЕРСИФИКАЦИЯ»

Людмила Анатольевна Надточий¹, Кифлом Негаси Тсиге²,
Мохамед Саид Булькран³, Алёна Владиславовна Проскура⁴,
Мариам Башировна Мурадова⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия

¹ l_tochka@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4678-8177>

² teneg44@yahoo.com,

³ mboulkrane@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1204-5041>

⁴ pav060695@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6053-3023>

⁵ mari.muradova1996@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3415-5428>

Аннотация. Зеленая муха падальница (*Lucilia caesar*) относится к семейству отряда двукрылых Calliphoridae. Было проведено исследование с целью изучения приблизительного состава и возможностей использования личинок зеленой мухи падальницы путем обезжиривания растворителем. На основании предварительных анализов, содержание сырого белка в массе из личинок зеленой мухи падальницы значительно увеличилось с 45,20 до 64,95% после обезжиривания. Аналогичным образом содержание золы и влаги в образцах увеличилось до 7,10 и 4,95%, соответственно. Кроме того, выход масла из зеленой мухи падальницы составил 31,03%. Было зарегистрировано увеличение содержания углеводов, включая клетчатку, с 16,03 до 23,01% после обезжиривания, что указывает на присутствие в личинках хитина. Полученные данные показывают возможность использования личинок зеленой мухи падальницы в качестве источника белка путем его концентрирования в кормах для животных, маслах для использования в биодизельном топливе, а также волокнах/хитине для производства продукта промышленного использования. Таким образом, дальнейшее детальное исследование личинок зеленой мухи падальницы (*Lucilia caesar*) является актуальным.

Ключевые слова: зелёная муха падальница, личинки, *Lucilia caesar*, содержание белка, обезжиривание, хитин

Благодарности. Авторы благодарят Правительство Российской Федерации за финансовую поддержку исследования и стипендию; Университет ИТМО для поступления и разрешения на обучение на своих факультетах. Спасибо сотрудникам Экологической лаборатории Университета ИТМО за помощь и разрешение на использование своих помещений. Мы также благодарим сотрудников лаборатории факультета биотехнологий Университета ИТМО за ценные комментарии и поддержку.

Для цитирования: Предварительное исследование сухих личинок зелёной мухи падальницы «Ресурсосбережение / диверсификация» / Л. А. Надточий, К. Н. Тсиге, М. С. Булькран, А. В. Проскура, М. Б. Мурадова // Ползуновский вестник. 2021. № 1. С. 91–98. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.012.

Original article

PRELIMINARY STUDY ON DRIED GREEN BOTTLE FLY LUCILIA CAESAR “RESOURCE SAVING/DIVERSIFICATION”

Liudmila A. Nadtochii¹, Kiflom N. Tsige², Mohamed S. Boulkrane³,
Alena V. Proskura⁴, Mariam B. Muradova⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, St. Petersburg, Russia

¹ l_tochka@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4678-8177>

² teneg44@yahoo.com,

³ mboulkrane@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1204-5041>

⁴ pav060695@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6053-3023>

⁵ mari.muradova1996@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3415-5428>

Abstract. The green bottle fly (GBF) (*Lucilia caesar*) belongs to family Calliphoridae in order Diptera. A simple study was conducted to investigate the proximate composition and examine the green bottle fly larvae utilization possibilities by solvent defatting. Based on the proximate analyses, the crude protein content of ground green bottle fly larvae paste had significantly increased from 45.20 to 64.95 % after defatting. In similar manner, the ash and moisture content of the samples also increased to 7.10 and 4.95 % respectively. Additionally, the yield of extracted of green bottle fly was 31.03 %. The carbohydrate including fiber content have been recorded to increase from 16.03 to 23.01 % after defatting that those values signify the presence of chitin in the larvae. The findings indicate the possibilities of utilizing green bottle fly larvae in producing diversified products such as source of protein by concentrating for animal feed ingredients; as oil source for use in biodiesel trails; and sources of fiber/chitin to produce chitin derived product for industrial use. Thus, the study recommends further detailed research on the larvae.

Keywords: green bottle fly, larvae, *Lucilia caesar*, proximate, protein content, defatting, chitin

Acknowledgements. Authors thank the Government of Russian Federation for financial support of the research study and the scholarship; ITMO University for admission and permission to study in their facilities. Thanks to Ecology Laboratory staff of ITMO University for help and permission to use their facilities. We also gratefully acknowledge to valuable comments and support obtained from Faculty of Biotechnology laboratory staff members of ITMO University.

For citation: Nadtochii, L. A., Tsige, K. N., Boulkrane, M. S., Proskura, A. V. & Muradova M. B. (2021). Preliminary study on dried green bottle fly lucilia caesar “resource saving/diversification”. *Polzunovskiy vestnik*, 1, 91-98. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.012

Introduction

Insects are among the diverse and abundant class of the phylum arthropods. The diversity and abundance of insects, is beyond their eco-logical and environmental role extended for industrial applications. Nowadays insects are becoming one of the promising resources viable and sustainable protein sources and are also source of lipid and chitin components. Insects have been reported to contain considerable amount of essential amino acids, fatty acids, vitamins, and mineral for their application in food and animal feed [1, 2]. The protein content of insects ranges from 10,3 % in raw samples to 82,6 % in protein concentrates [1, 3,

4]. The protein content vary with species, developmental stages and source environment. For instance, protein content of *Eulepidamashona* (beetle) 13,85–16,54 % and *Henicuswhellani* (cricket) 14,66–20,96 % [5], five insect species 53,2 to 58,3 % [6], tree locust flour protein content of 6,24–67,75 % [7], *Tenebrio molitor* (mealworm) meals range 51,8–59 % and *Hermetiaillucens* meals 49,9–58,8 % [8], raw dried BSF flour (*Hermetiaillucens*) 42 % [9], *T. molitor* (mealworm) before defatting 52 % and after defatting 76,5 % [10], and freeze dried migratory locust (*Locustamigratoria*) 65,87 % and 82,26 % for protein concentrates [4]. The results of those findings indicates the protein content of insect species varies with the application of processing methods

such as size reduction, drying, filtration, defatting etc. therefore, the results are comparable with the plant and other animal origin food products and signify their potential in replacing some previous meals.

The demand for energy are one of the pushing factors to discover of fuel sources, among which the green energy in biodiesel/fuel production is to reduce environmental concerns [11, 12]. Compared to petroleum sources, bio-diesel is ecofriendly, renewable, reduces countries dependence on imported petroleum product. For those reason, insects have been targeted for oil sources due to their fat content of 10 to 60 % [8, 13], good bio-converters of wastes for clean production, short life cycle, and high reproduction rate [14, 15]. The larval developmental stage has higher fat than adults that is present in different forms such as triacylglycerols, cholesterol, and others. The fat content of insect species varies with the application of processing methods. This is mainly, the processing by defatting either chemically or mechanically, filtration to obtain oil that may be used in biodiesel production. Some of the reports of insects as potential source of oil, fat content of raw dried BSF flour (*Hermetia illucens*) 36,2 % [9], *T. molitor* (mealworm) 30,8 % [10], *Tenebrio molitor* (mealworm) meals range 16,6–29,8 % and *Hermetia illucens* meals 11,3–29,0 % [8], termite (*Macrotermes subhyalinus*) 19,8–42,3 % and grasshoppers (*Ruspolia differens*) 12,8–43,1 % [16], five insect species 11,9 to 34,5 % [6], freeze dried migratory locust (*Locust migratoria*) 23,81 % [4]. The findings of the researcher is interesting and leads to the selection of potent species and search of new potential species.

The rising interest in insects as protein and oil sources is reflected to increasing scientific literatures, but regarding the green bottle fly larvae (GBFL) (*Lucilia caesar*) is almost no information.

The genus *Lucilia* are well known as scavenger insects, belongs to family Calliphoridae in order Diptera. Regarding this species, very few previous preliminary researches in Russian federation have demonstrated that protein-lipid preparation from dried and crushed fly larvae of the species *Lucilia caesar* as promising feed alternative resource containing 44,2 % of crude protein, and crude fat of 11,6 % [17]. The finding suggests further research on this species to explore its potential use.

Therefore, in this paper, we explored the protein and oil potential of dried green bottle fly larvae (GBFL) by chemical defatting. At the same time, its ash and moisture composition of the GBFL and predicting the presence of chitin.

Materials and methods

Samples, chemicals/reagents All chemicals and reagents were of analytical grade. Water used in the experiments was deionized water.

Sample of whey protein isolate powder (WPI, Lithuania) used in the present study was acquired from a commercial retailer specialized on nutritional supplements that was used as control.

Samples of Green bottle fly larvae Samples of Green bottle fly larvae (*L. caesar*) were obtained from the enterprise 'New Biotechnologies' LLC (Lipetsk, Russian Federation), that were dried to a range of 60–70 °C temperature until the moisture content of the biomass reaches less than 4 % [17]. This dried protein-lipid preparation commercially named as 'Zooprotein' were brought packed in sterile plastic containers to the laboratory of Faculty of Biotechnology of ITMO University.

Dried insects paste and flour preparation The dried GBFL larvae were unpacked and ground in Grind-mix grinder (type GM200, Retsch GmbH, Germany) for 10 minutes at 6000 RPM and repeated five times. It was manually sieved to pass through 1mm mesh size and divided into two parts. One part (10 g) was defatted with n-hexane in ratio (1 : 5) at room temperature [15] with some modifications. After 48 h, the liquid part with n-hexane was transferred to another beaker that Evaporation of n-hexane and water droplets was done at 105 °C in a water bath for 3–4 h. Then, the remaining liquid was centrifuged at 13000 RPM for 15 minutes to separate the fat and residues. The solid matrix (not soluble in n-hexane) was dried in at 37°C for 2 h and then homogenized. Here, two components were obtained, one dried fat extracted flour and a second one, crude fat. These samples were weighed to determine yield and fat content of samples. And the other (second) part was only dried sample without defatting. Then, both of them, ground non-defatted paste and defatted powder GBFL were kept properly and analyzed within 2 weeks.

Proximate / Chemical Analysis The crude protein content of samples was determined by the Kjeldahl method according AOAC method 981,10 for green bottle fly larvae and AOAC method 991,20 for whey protein isolate. A 0,5–2 g samples (both non-defatted ground paste GBFL and defatted powder GBFL) were weighed and transferred to digestion tubes/flask and samples were in triplicate. Sample digestion, distillation and titration was carried out in Kjeldhal set up (VELP-Scientifica-UDK 159 instrument). The percentage of nitrogen was converted to crude protein by multiplying with Nitrogen factor 6,25 for green

bottle fly larvae and with Nitrogen factor 6,38 for whey protein isolate.

The moisture content was conducted in automatic moisture/balance analyzer (type-MOC 120H, Shimadzu Corp., Japan). Around 1–2 g of sample from both non-defatted ground paste GBFL and defatted powder GBFL in triplicate were weighed in analytical balance. Then the samples were placed in the heating pan of automatic analyzer and heated at 100 °C for 3–8 minutes. The moisture content in percentage was automatically displayed and recorded for each sample.

Ash content was determined gravimetrically on incineration according to the AOAC standard methods 942.05 [18] as described in Zhang et al. [19]. The non-defatted ground paste GBFL and defatted powder GBFL samples were weighed in 1–2 g in triplicate. The samples used for moisture analysis were used to determine ash content, that were burned in hot plate at 150–170 °C in fume hood until the smoking completely stops. After the preheating combustion is completed, it will be transferred to a muffle furnace (model LOIP LF 9/13 G2, LOIR, Russia) for at least 4 h at 550–600 °C or until constant weight. The crucible were allowed to cool in desiccator for 30 min and weighed to the nearest digits. The ash content was calculated from the percentage of ash residue compared to the initial weight of the moisture-free sample:

$$\%Ash = M_1 \times 100 / M_2, \quad (1)$$

where M1 – weight of residue, g; M2 – sample weigh, g.

The method of extraction is described in previous sections [15].

The extracted crude oil percentage of samples detailed here, that the final fat obtained was calculated by difference of the final weight of the sample with flask minus the weight of initial sample with flask divided by initial weight of sample without flask. It was expressed in percentage.

Carbohydrate was obtained by difference (100 – sum of moisture, protein, fat, crude fiber/chitin and ash) [18]. Carbohydrate content was calculated by the following equation:

$$\begin{aligned} \text{Carbohydrate (\%)} &= (100 - (\text{moisture} + \text{ash} + \text{crude fat} + \text{crude protein} + \text{fiber/chitin})) \times 100 \% \\ (\text{Carbohydrate} + \text{crude fiber/chitin}) &= 100 - (\text{moisture} + \text{ash} + \text{crude fat} + \text{crude protein}). \end{aligned}$$

Statistical analysis. Results were analyzed and expressed as means ± standard deviation of the replicates. Analysis of variance (ANOVA) was performed to determine significance differences

between treatments. Post hoc analysis (Tukey – Duncan) were performed to determine significantly different treatments at 5 % level of significance ($p < 0,05$). Analysis was done using SPSS software version 20.

Results and discussion

Physical observation and Defatting of GBFL

Based on the physical observation of dried GBFL, it was initially with distinct smell after unpacking from its package. The dried GBFL pieces had color ranges of light yellow, light grey, light brown, black against a white background surface to the naked eye of the observer (Fig. 1, a). They had elongated shape and firmer to touch. Up on grinding, the dried GBFL was observed to the leaching of oily substance to the surface of the grinder. When the ground GBFL mass passed through a less than 1 mm mesh sieve, it was placed in paper surface and was examined to stain the paper with oily substance and had to look like dark yellow colored paste item (Fig. 2, b.). The ground GBFL oil was extracted using n-hexane. The extracted crude oil was observed to light yellow coloration up on placing 2 ml microfuge (Fig. 2, c.). The solid residue of GBFL was changed to a powder up on evaporation of n-hexane. Defatted GBFL powder had found to have creamy color with little smell of the initial dried GBFL (Fig. 2, d.). There are several methods of extraction of crude oil such as mechanical, filtration, solvents or combination. Solvent extraction is simple for defatting at laboratory basis and there are different types of differing in degree of polarity properties and they can give different yield of larval crude oil [20]. Among which, in this study n-hexane was selected due to its availability. As indicated in Table 1, the yield of dried GBFL derived oil was 31,03 % that is in similar raw dried BSF flour (*Hermetia illucens*, 36,2 %) [9], *T. molitor* (mealworm; 30,8 %) [10], but it seems low as compared to the previous of research. In one study, ethanol, acetone and petroleum ether extraction from black soldier fly larva have reported 50 to 60 % of crude oil extract, in which ethanol had been recorded to have highest value than petroleum ether and lowest acetone [20]. In black soldier fly, it was reported to have nearly 40 % of oil content in black soldier fly larvae biomass by mechanical pressing, and combination of pressing and solvent extraction removed about 90 % of total oil content [14]. The lower crude oil yield in this study could be the method extraction, type of solvent used and substrate/species. This could help to suggest for further study and improvement of research depth.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СУХИХ ЛИЧИНОК ЗЕЛЁНОЙ МУХИ ПАДАЛЬНИЦЫ
LUCILIA CAESAR «РЕСУРСОСБЕРЖЕНИЕ / ДИВЕРСИФИКАЦИЯ»

Table 1 – Chemical composition of research samples

Таблица 1 – Химический состав исследуемых образцов

Analysis	Non-defatted ground paste GBFL	Defatted powder GBFL	Whey protein isolate (control)
	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD
Crude protein (%)	45,20 ± 1,01 ^a	64,95 ± 0,7 ^b	89,40 ± 0,78 ^c
Crude Ash (%)	5,30 ± 0,17 ^a	7,10 ± 0,13 ^b	3,02 ± 0,1 ^c
Moisture (%)	2,44 ± 0,04 ^a	4,95 ± 0,06 ^b	5,77 ± 0,11 ^c
Yield of Oil extracted	31,03 ± 0,65	not detectable level	not detectable level
Carbohydrate + crude fiber / chitin	16,03 ± 1,54 ^a	23,01 ± 0,72 ^b	1,80 ± 0,73 ^c

Note: Values in the same row and subtable not sharing the same subscript are significantly different at $p < 0,05$ in the two-sided test of equality for column means. Cells with no subscript are not included in the test. Tests assume equal variances. Tests are adjusted for all pairwise comparisons within a row of each innermost subtable using the Bonferroni correction.

Proximate Composition of GBFL

The protein content of ground non-defatted GBFL paste, defatted GBFL powder, and whey protein isolate are summarized in Table 1. There was significant ($p < 0,05$) difference in the crude protein content among the ground non-defatted GBFL paste, defatted GBFL powder, and whey protein isolate. The crude protein content was higher defatted GBFL powder than the ground non-defatted GBFL paste, but was highest in the whey protein isolate (control). The protein con-

tent of defatted GBFL powder and ground non-defatted GBFL paste obtained in this study was within the range of reported studies [1, 4, 6]. The ground non-defatted GBFL paste was 45,2 % which is comparable with results of dried green bottle fly larvae (44,2 %) reported by [17] and raw dried BSF flour (*Hermetia illucens*) (42 %) reported by Huang et al., [9]. Defatting was found to increase the level of protein content to 64,95 % in the present study.

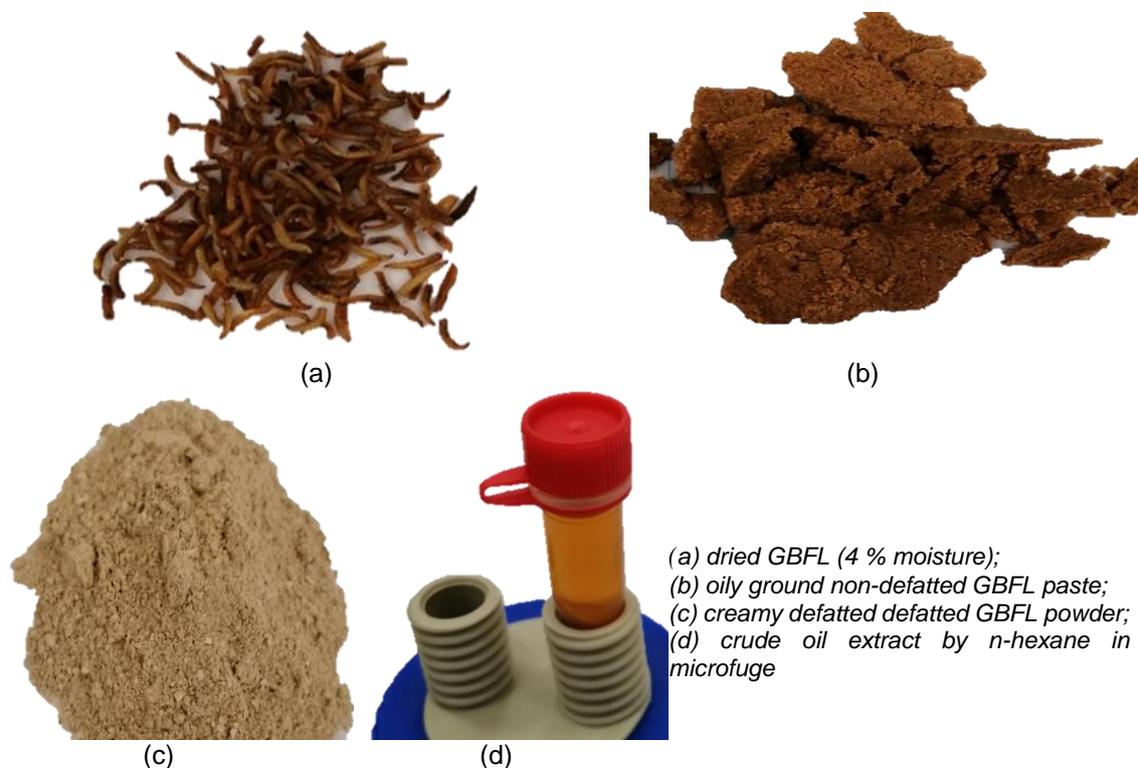


Figure 1 – Research samples

Similarly, defatting increased the crude protein of *T. molitor* (mealworm) to 76,5 % [10], of migratory locust (*Locustamigratoria*) protein concentrates to 82,26 % [4] and black soldier fly prepupae meal to 63,9 % [14].

The results indicate that the crude protein content of the ground non-defatted GBFL paste, defatted GBFL powder are comparable with the most common protein source in animal feeds such as soybean meal and fishmeal; and other insects. Moreover, the removal of crude fat from BSF prepupae not only improved the crude protein content of GBFL but also the removal of crude fat from high fat containing feedstuffs is important in mixing/processing of animal feeds ingredients and also to improve the storability in reducing oxidation level. Further, fat removal may increase of protein digestibility of the insect derived feed or concentrates.

The moisture of ground non-defatted GBFL paste, defatted GBFL powder, and whey protein isolate are given in Table 1. The moisture content of ground non-defatted GBFL paste, defatted GBFL powder, and whey protein isolate are 2,44 %, 4,95 % and 5,77 %, respectively. Moisture content of ground non-defatted GBFL paste and defatted GBFL powder are comparable to the values reported in literature. Moisture content obtained in cricket powder (6,79 %) [21], and another cricket 6,40 % in Paiko et al. [22] and Zoo-protein of *L. caesar* 12 % [17]. The level of moisture content lower 10 % is good for the storage of high protein products to avoid any chemical changes and microbial activity. This could signify for products of defatted GBFL for further usage as animal feed ingredient.

From nutritional point of view, ash content level is important for source essential minerals such calcium, magnesium, iron, potassium etc for the functioning of cell of an organism. The ash content of ground non-defatted GBFL paste, defatted GBFL powder, and whey protein isolate are presented in Table 1, in which there was indicated significant ($p < 0,05$) difference in the ash content among the ground non-defatted GBFL paste, defatted GBFL powder, and whey protein isolate. The higher ash content in defatted GBFL than ground non-defatted GBFL paste may be the removal of fat cause to change in proximate constituent's proportion. The results of ash of this study were 5,3 % for ground non-defatted GBFL paste and 7,1 % for defatted GBFL. Other studies have documented on ash content of 4,65 % in *T. molitor* larvae flour [23], and of 4,9 % in *T. molitor* again [24]. The slight difference observed in comparison to the results reported by previous researches may be due to differences in rearing conditions, type of species, feed compositions,

different sample preparation and analysis techniques.

As indicated in Table 1, the carbohydrate including fiber had significant difference ($p < 0,05$) among the three samples examined. It can be suggested that the defatting of GBFL samples caused to increase from 16,03 % to 23,01 %. The results of non-defatted GBFL carbohydrate content plus fiber are comparable with findings of other insects species studied. In one research paper, the fiber content (carbohydrate) had reported in range of 4,03 % to 11,06 % in larvae of *Alomyrinadichotoma*; *Protaetiabrevitarsis*; and *T. molitor*; and 9,53 % to 10,37 % in adults *Telogyllusemma*, and *Gryllusbimaculatus* [6]. Bednářová, [13] have also reported the fiber content of seven insect species to range 8–27 %, in which the highest value was documented in African migratory locust (*Locustamigratoria*). In another study of *L. caesar* larvae, the crude fiber was reported to be 8,1 % [17]. The slight variation of carbohydrate/ crude fiber among research reports may be due to the developmental stages, methods of analysis; and species. However, the results of this study carbohydrate including fiber for both non-defatted and defatted GBFL are good indicators of the presence of quantifiable amount chitin that is the most common insoluble form of fiber in the body of insects contained mainly in their exoskeleton. This finding leads to further study for the extraction of chitin derived products from GBFL and the removal of chitin-antinutritional factor furthermore may improve extracted insect protein digestibility.

Conclusion

The present study has found that GBFL has appreciable quantity of proximate constituents for its use in product diversification. In this, the protein content of non-defatted GBFL signifies for its use in animal nutrition. The solvent defatting of GBFL samples also further improved the protein content. The lower moisture content also seems to be essential for increased shelflife of higher protein content derived products by reducing hydrolytic effect and microbial activity. GBFL derived oil has a good results, which could further be diverted in producing insect biodiesel to be use as commercial ingredient. Moreover, the amount of carbohydrate/fiber in GBFL gave clues to the presence of chitin, as this insoluble component is the main fiber component of insect's exoskeleton and is important for industrial use. Overall, GBFL can be utilized in producing of diversified products such as protein concentrates, oil sources and chitin derived products by successfully implementing efficient technology for generating the products

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СУХИХ ЛИЧИНОК ЗЕЛЁНОЙ МУХИ ПАДАЛЬНИЦЫ
LUCILIA CAESAR «РЕСУРСОСБЕРЖЕНИЕ / ДИВЕРСИФИКАЦИЯ»

with simultaneous organic waste conversion. Thus, further research study on the species is highly recommended.

REFERENCES

- 1 Ramos-Elorduy, J., Pino, J.M., Prado, E.E., Perez, M.A. Otero, J.L. & De-Guevara, O.L. (1997). Nutritional value of edible insects from the state of Oaxaca, Mexico. *Journal of Food Composition and Analysis*, (10), 142–157.
- 2 Ottoboni, M., Spranghers, T., Pinotti, L., Baldi, A., De Jaeghere, W. & Eeckhout, M. (2017). Inclusion of *Hermetia illucens* larvae or prepupae in an experimental extruded feed: process optimisation and impact on in vitro digestibility. *Italian Journal of Animal Science*, 7 (2), 418–427.
- 3 Pennino, M., Dierenfeld, E.S. & Behler, J.L. (1991). Retinol, alpha-tocopherol and proximate nutrient composition of invertebrates used as feed. *International Zoo Yearbook*, 30(1), 143–149.
- 4 Purschke, B., Tanzmeistera, H., Meinschmidt, P., Baumgartnerb, S., Lauter, K. & Jäger, H. (2018). Recovery of soluble proteins from migratory locust (*Locustamigratoria*) and characterisation of their compositional and techno-functional properties. *Food Research International*, (106), 271–279.
- 5 Manditseraa, F.A., Luninga, P.A., Foglianoa, V. & Lakemonda, C.M.M. (2019). Effect of domestic cooking methods on protein digestibility and mineral bioaccessibility of wild harvested adult edible insects. *Food Research International*, (121), 404–411.
- 6 Ghosh, S., Lee, S.M, Jung, C. & Meyer-Rochow, V.B. (2017). Nutritional composition of five commercial edible insects in South Korea. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, (20), 686–694.
- 7 El-Hassan, N.M., Hamed, S.Y., Hassan, A.B., Eltayeb, M.M. & Babiker, E.E. (2008). Nutritional Evaluation and Physicochemical properties of boiled and Fried tree locust. *Pakistan Journal of Nutrition*, 7 (2), 325–329.
- 8 Marono, S., Piccolo, G., Loponte, R., Di-Meo, C., Attia, Y.A., Nizza, A. & Bovera, F. (2015). In vitro crude protein digestibility of *Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens* insect meals and its correlation with chemical composition traits. *Italian Journal of Animal Science*, (14), (P. 3889).
- 9 Huang, C., Feng, W., Xiong, J., Wang, T., Wang W. Cunwen-Wang, C. & Yang, F. (2019). Impact of drying method on the nutritional value of the edible insect protein from black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae: amino acid composition, nutritional value evaluation, in vitro digestibility, and thermal properties. *European Food Research and Technology*, (245), 11–21. <https://doi.org/10.1007/s00217-018-3136-y>.
- 10 Yi, L., Martinus A.J.S., Van-Boekel, M.A.J.S. & Lakemond, C.M.M. (2016). Protein identification and in vitro digestion of fractions from *Tenebrio molitor*. *European Food Research and Technology*, (242), 1285–1297. doi 10.1007/s00217-015-2632-6.
- 11 Mosarof, M.H., Kalam, M.A., Masjuki, H.H., Alabdulkarem, A., Ashraf, A.M., Arslan, A., Rashedul, H.K. & Monirull, M. (2016). Optimization of performance, emission, friction and wear characteristics of palm and *Calophyllum* biodiesel blends. *Energy Conversion and Management*, (118), 119–134.
- 12 Kamarulzaman, M.K., Hafiz, M., Adama, A., Chen, A.F. & Awad, O.I. (2019). Combustion, performances and emissions characteristics of black soldier fly larvae oil and diesel blends in compression ignition engine. *Renewable Energy*, (142), 569–580.
- 13 Bednářová, M. (2016). Possibilities of Using Insects as Food in the Czech Republic. 2013: In Kouřimská L, Adámková A. Review : *Nutritional and sensory quality of edible insects*. *NFS Journal*, (4), 22–26.
- 14 Surendra, K., Olivier, R., Tomberlin, J.K., Jha, R. & Khanal, S.K. (2016). Bioconversion of organic wastes into biodiesel and animal feed via insect farming. *Renew Energy*, (98), 197–202.
- 15 Nguyen, H.C., Liang, S.H., Chen, S.S., Suc, C.H., Linc, J.H., Chien, C.C. (2018). Enzymatic production of biodiesel from insect fat using methyl acetate as an acyl acceptor: Optimization by using response surface methodology. *Energy conversion and management*, (158), 168–175.
- 16 Kinyuru, J.N., Kenji, G.M., Njoroge, S.M. & Ayieko, M. (2010). Effect of processing methods on the in vitro protein digestibility and vitamin content of edible winged termite (*Macrotermes subhyalinus*) and grasshopper (*Ruspoliadifferens*). *Food Bioprocess Technology*, (3), 778–782. doi 10.1007/s11947-009-0264-1.
- 17 Nadochii, L., Baranenko, D., Melchakov, R., Muradova, M., Istomin, A. & Istomin A. (2019). Investigation of fly larvae *Lucilia caesar* application in pet feed composition. *Agronomy Research*, 17(6), 2359–2372. <https://doi.org/10.15159/AR.19.209>.
- 18 AOAC, (Association of Official Analytical Chemists). Official methods of analysis, 18th ed. (Revised). Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC. William Horwitz, and Dr. George Latimer (Ed). (2010). *Association of Official Analytical Chemists*.
- 19 Zhang, A.J., Qian, Q.L., Zhang, H., Wang, H.T., Li, X., Miao, L. & Wu, Y.J. (2011). Preparation and Characterisation of Food-Grade Chitosan from Housefly Larvae. *Czech Journal of Food Science*, 29(6), 616–623.
- 20 Ishak, S., Kamari, A., Yusoff, S.N.M. & Halim, A.L.A. (2018). Optimisation of biodiesel production of Black Soldier Fly larvae rearing on restaurant kitchen waste, IOP Conf. Series. *Journal of Physics*, Conf. Series 1097, 012052. doi: 10.1088/1742-6596/1097/1/012052.
- 21 Gresiana, F., Marpaung, Ir. A.M.M.P. & Si, H.S.M. (2015). Protein Isolation from Cricket (*Gryllus mitratus*). *Proceedings of the International Conference on Innovation, Entrepreneurship and Technology 25–26 Nov 2015*. Indonesia: BSD City. ISSN: 2477–1538.
- 22 Paiko, Y.B., Dauda, B.E.N., Suleiman, M.A.T., Akanya, H.O. & Jacob, J.O. (2015). Physico-chemical properties and metal ions content of oil extracted from cricket (*Brachitrupe membranaceus*) in bosco local government area of niger state, Nigeria. 2013 : In Gresiana F., Ir. A.M.M.P, Marpaung & H.S.M Si. (Ed).

Protein Isolation from Cricket (Gryllusmitratus). Proceedings of the International Conference on Innovation, Entrepreneurship and Technology 25–26 November 2015, Indonesia: BSD City. ISSN: 2477–1538.

23 Santhosh, R., Yadav, B.K., Rawson, A. (2019). Optimization of protein extraction from yellow mealworm larvae. *International Journal of Chemical Studies*, 7(3), 4577–4582.

24 Zhao, X., Vázquez-Gutiérrez, J.L., Johansson, D.P., Landberg, R. & Langton M. (2016). Yellow Mealworm Protein for Food Purposes – Extraction and Functional Properties. *PLoS-ONE*, 11(2), (P. e0147791). doi:10.1371/journal.pone.0147791.

Information about the authors

L. A. Nadtochii - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the National Research University of Information Technologies.

K. N. Tsige - postgraduate student at the National Research University of Information Technologies.

M. S. Boulkrane - engineer at the National Research University of Information Technologies.

A. V. Proskura - post-graduate student at the National Research University of Information Technologies.

M. B. Muradova - postgraduate student at the National Research University of Information Technologies.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 15.01.2021; одобрена после рецензирования 12.02.2021; принята к публикации 25.02.2021.

The article was received by the editorial board on 15 Jan 21; approved after reviewing on 12 Feb 21; accepted for publication on 25 Feb 21.

Научная статья

05.18.15 – Технология и товароведение продуктов функционального и специализированного назначения и общественного питания (технические науки)

УДК 637.142.22:664

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.013

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА С ПРИМЕНЕНИЕМ ДЕСКРИПТОРНО-ПРОФИЛЬНОГО РАНЖИРОВАНИЯ И АНАЛИЗ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ МОЛОЧНЫХ КОНСЕРВОВ

Татьяна Александровна Матвеева¹, Ирина Юрьевна Резниченко²,
Алена Александровна Мельникова³

¹ Центр гигиены и эпидемиологии в Кемеровской области, Кемерово, Россия, mta84@list.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-3792-5608>

^{2,3} Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

² Irina.reznichenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7486-4704>

³ melnikovaalena356@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2688-513X>

Аннотация. Статья посвящена оценке качества молочной консервной продукции, востребованной потребителями и занимающей определенное место в потребительской корзине. Ассортимент молочных консервов широк и разнообразен, в связи с чем продукция должна быть привлекательна не только по ценовой категории, но и отвечать требованиям качества и потребительской оценке. В качестве образцов выбраны консервы молочные сгущенные с сахаром различных производителей, представленные на потребительском рынке г. Кемерово. При выполнении исследований применяли органолептические и количественные методы анализа. Определение состояния упаковки и маркировки проводили в соответствии с требованиями действующих нормативных документов ТР ТС 022/2011, ТР ТС 005/2011. Показатели качества образцов определяли в соответствии с ГОСТ 31688-2012 и ТР ТС 033/2013. Сенсорную оценку образцов проводили по разработанной 25-балловой шкале. В работе приведены результаты оценки потребительских свойств выбранных объектов, отмечены достоинства и недостатки упаковки и маркировки объектов, представлены результаты ранжирования молочных консервов методом дескрипторно-профильного анализа, когда объекты экспертизы представлены в порядке снижения сенсорных характеристик. Рассматривали итоговое определение степени предпочтения дегустаторами по результатам сенсорной оценки образцов. Выявили сходство и различия между образцами в соответствии с выставленными баллами. Потребительские свойства характеризовали эргономические и эстетические показатели упаковки и маркировки образцов. Полученные результаты могут представлять интерес для перерабатывающих молочных предприятий при установлении категории качества и для торговых организаций при формировании ассортимента молочных консервов.

Ключевые слова: балловая шкала, дескрипторно-профильный анализ, консервы молочные, маркировка, оценка качества, потребительские свойства, ранжирование, сенсорная характеристика.

Для цитирования: Матвеева Т.А., Резниченко И.Ю., Мельникова А.А. Исследование качества с применением дескрипторно-профильного ранжирования и анализ потребительских свойств молочных консервов // Ползуновский вестник. 2021. № 1. С. 99–105. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.013.

Original article

QUALITY RESEARCH WITH APPLICATION OF DESCRIPTOR-PROFILE RANKING AND ANALYSIS OF CONSUMER PROPERTIES OF CANNED DAIRY

Tatyana A. Matveeva¹, Irina Yu. Reznichenko², Alena A. Melnikova³

¹ Center for Hygiene and Epidemiology in Kemerovo Region, Kemerovo, Russia
mta84@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3792-5608>

^{2,3} Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

² Irina.reznichenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7486-4704>

³ melnikovaalena356@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2688-513X>

Abstract. *The article is devoted to the assessment of the quality of canned dairy products demanded by consumers and occupying a certain place in the consumer basket. The assortment of canned dairy is wide and varied, and therefore, the products must be attractive not only in terms of the price category, but also meet the quality requirements and consumer appraisal. Canned milk condensed with sugar from various manufacturers, presented on the consumer market in Kemerovo, were selected as samples. When performing the research, organoleptic and qualimetric methods of analysis were used. Determination of the state of packaging and labeling was carried out in accordance with the requirements of the current regulatory documents TR CU 022/2011, TR CU 005/2011. The quality indicators of the samples were determined in accordance with GOST 31688-2012 and TR CU 033/2013. Sensory assessment of the samples was carried out according to the developed 25-point scale. The paper presents the results of evaluating the consumer properties of the selected objects, notes the advantages and disadvantages of packaging and labeling of objects, presents the results of ranking canned milk by the method of descriptor-profile analysis, when the objects of examination are presented in order of decreasing sensory characteristics. The final determination of the degree of preference by the tasters based on the results of the sensory evaluation of the samples was considered. We revealed the similarities and differences between the samples in accordance with the assigned points. Consumer properties were characterized by ergonomic and aesthetic indicators of packaging and labeling of samples. The obtained results may be interesting for dairy processing enterprises when they are establishing a quality category and for trade organizations when they are forming an assortment of canned dairy.*

Keywords: *point scale, descriptor-profile analysis, canned milk, labeling, quality assessment, consumer properties, ranking, sensory characteristics.*

For citation: Matveeva, T.A., Reznichenko, I.Yu. & Melnikova, A.A. (2021). Quality research with application of descriptor-profile ranking and analysis of consumer properties of canned dairy. *Polzunovskiy vestnik*, 1, 99–105. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.013.

Современный потребительский рынок предлагает широкий ассортимент молочных консервов. Отмечено, что потенциал производства отечественных молочных консервов огромен, при этом в видовом рассмотрении основными категориями являются сгущенные консервы, доля которых в 2020 г. составила 90 % совокупного выпуска, доля сухих молочных консервов – 10 %. Характерным трендом становится увеличение доли молока сгущенного с сахаром в общей структуре ассортимента и производства на рынке России [1].

Молочные консервы используются для замены натурального молока, как самостоя-

тельный продукт, для изготовления кондитерских изделий, их добавляется по вкусу в кипяченую воду, какао, кофе и чай. Пищевая ценность молочных консервов характеризуется не только высокой калорийностью, но и наличием в составе витаминов группы В, жирорастворимых витаминов, минеральных веществ [2]. На сегодняшний день молочные консервы выпускает ряд российских производителей в различных регионах. Молочные консервы пользуются стабильным спросом и являются востребованным продуктом. В связи с этим оценка качества и потребительских свойств является актуальной задачей по

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА С ПРИМЕНЕНИЕМ ДЕСКРИПТОРНО-ПРОФИЛЬНОГО РАНЖИРОВАНИЯ И АНАЛИЗ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ МОЛОЧНЫХ КОНСЕРВОВ

обеспечению потребителей качественными и безопасными молочными консервами.

Цель работы: оценка качества молочных консервов путем ранжирования и исследование потребительских свойств сгущенных молочных консервов, представленных ритейлом г. Кемерово.

Исследования проводили в лабораторных условиях ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Кемеровской области», а также на кафедре «Управление качеством» ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет».

Объектами исследования выбраны образцы молока, сгущенного с сахаром различных производителей и торговых марок. Характеристика объектов исследования приведена в таблице 1.

Методы исследования. Оценка качества образцов по органолептическим показателям проводили согласно требованиям ГОСТ 31688-2012 «Консервы молочные. Молоко и сливки, сгущенные с сахаром. Техни-

ческие условия (с изменением № 1, с поправкой)», ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции». Эксперимент проводили на базе Федерального бюджетного учреждения здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в Кемеровской области» в аккредитованной испытательной лаборатории по исследованию пищевых продуктов и продовольственного сырья. Определение внешнего вида и консистенции, вкуса и запаха проводили органолептическим путем визуального осмотра и опробования в неразведенном продукте при температуре $(18 \pm 2) ^\circ\text{C}$ согласно ГОСТ 29245-91. Дегустационную оценку проводили по 25-балловой шкале (таблица 3). В дегустации принимали участие 7 специалистов-экспертов. Определение внешнего вида упаковки, массы нетто проводили по ГОСТ 29245-91. Анализ маркировки проводили на соответствие требованиям ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки» [3, 4, 5, 6, 7].

Таблица 1 – Характеристика объектов исследования

Table 1 – Characteristics of research objects

Наименование образца	Производитель	Заявленная на маркировке масса
1. Назаровское молоко сгущенное с сахаром (молоко частично обезжиренное сгущенное с сахаром с массовой долей жира 5 %)	ООО «Назаровское молоко», Россия, 662202, Красноярский край, г. Назарово, ул. Суворова, 9, стр. 21	460 г
2. Молоко цельное сгущенное с сахаром Сгустёна (молоко сгущенное с сахаром, массовая доля жира 8,5 %)	АО «Любинский МКК», РФ, 646176, Омская область, Любинский р-н, п. Красный Яр, ул. Съездовая, 10	280 г
3. Сгущенное цельное молоко с сахаром с массовой долей жира 8,5 % Рогачевь	ОАО «Рогачевский МКК», Республика Беларусь, 247671, Гомельская область, г.Рогачев, ул. Кирова, 31	380 г
4. Молоко сгущенное с сахаром. Тяжин	ООО «Кузбассконсервмолоко» РФ, Кемеровская обл., п.г.т. Тяжинский, ул. Кирова, 13.	0,26 кг
5. Сгущенное цельное молоко с сахаром Волоконовское	ООО «Белмолпродукт», Россия, г. Белгород, Михайловское шоссе, 14	400 г
6. Молоко цельное сгущенное с сахаром. Коровкино	АО «Любинский МКК», РФ, 646176, Омская область, Любинский р-н, п. Красный Яр, ул. Съездовая, 10	280 г

Результаты исследования и их об-суждение. Проведя исследование упаковки на соответствие требованиям ТР ТС 005/2011 «О безопасности упаковки», можно сделать следующие выводы: образец № 1 и образец № 3 упакованы в металлические банки со сварным швом, также имеется бумажная этикетка, оформленная в фирменном стиле изготовителя. Вмятины и признаки бомбажа отсутствуют, банки герметичные. Образцы №№ 2, 4, 6 имеют полимерную упаковку (дой-

пак), упаковка не загрязнена, признаки деформации отсутствуют, дозатор-крышка плотно прилегает к пакету. Образец № 5 упакован в пластиковое ведро с плотно пригнанной крышкой, ручка прочно прикреплена к ведру; упаковка чистая, недеформированная, герметичная. Упаковка, как критерий потребительской оценки, а также фактор, сохраняющий качество товара, имеет значение при выборе. Продукт, упакованный в металлические банки, не рекомендуется после вскрытия

хранить в открытой таре, что отмечено производителем в информации, приведенной на этикетке. Данное обстоятельство сказывается на потребительских предпочтениях. Наиболее привлекательным видом упаковки с точки зрения эргономических и эстетических характеристик являются упаковки «дой-пак» и пластиковое ведро.

В целом все образцы по упаковке соответствуют требованиям нормативных документов.

Анализ маркировки образцов показал, что текст читаем, не смазан, присутствует вся необходимая информация в соответствии с требованиями ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция и части её маркировки».

Маркировка, как критерий потребительской оценки и выбора продукта имеет значение с точки зрения представленной инфор-

мации и ее оформления [8–10]. Наиболее привлекательная этикетка у образца № 5, которая содержит дополнительную информацию о применении продукта, его биологической ценности.

Масса продукта, как потребительский критерий, должна соответствовать заявленной на этикетке. Оценка массы нетто образцов показала, что масса нетто соответствует заявленной и не превышает допустимых отрицательных отклонений для упаковочных единиц в потребительской упаковке менее 1 кг.

В таблице 2 приведен состав и пищевая ценность исследуемых образцов, как важная характеристика при оценке органолептических показателей качества. Массовая доля жира во всех образцах, кроме № 1, составляет 8,5 %. В образце № 1 содержание жира составляет 5 %.

Таблица 2 – Состав анализируемых образцов

Table 2 – Composition of the analyzed samples

Образец	Состав, пищевая ценность (г/100г)
1. Молоко сгущенное с сахаром Назаровское	Молоко нормализованное, сахар (сахароза, лактоза) Белки – 8,5; жиры – 5; углеводы – 57,0
2. Молоко цельное сгущенное с сахаром Сгустёна	Молоко цельное, молоко обезжиренное, сахар (сахароза), лактоза Белки – 6,8; жиры – 8,5; углеводы – 56,0
3. Сгущенное цельное молоко с сахаром Рогачевъ	Молоко нормализованное, сахар (сахароза, лактоза) Белки – 8,0 ; жиры – 8,5; углеводы – 56,0
4. Молоко сгущенное с сахаром Тяжин	Молоко коровье, обезжиренное молоко, молоко сухое обезжиренное, сыворотка молочная сгущенная, масло сливочное, сахар (сахароза, лактоза). Белки – 5,3; жиры – 8,5; углеводы – 56,0
5. Сгущенное цельное молоко с сахаром Волоконовское	Молоко нормализованное, сахар(сахароза), сахар молочный пищевой мелкокристаллический (лактоза). Белки – 6,97; жиры – 8,5; углеводы – 56,0
6. Молоко цельное сгущенное с сахаром Коровкино	Молоко цельное, молоко обезжиренное, сахар (сахароза), лактоза Белки – 6,8; жиры – 8,5; углеводы – 56,0

Самый разнообразный рецептурный состав у образца № 4, в отличие от состава других образцов. В нем присутствует молоко сухое обезжиренное, сыворотка молочная сгущенная, масло сливочное, что отражается на органолептических показателях качества.

Качество продукта зависит не только от пищевой ценности, но и от органолептических свойств, которые определяют покупательную способность и позволяют оценить, как воспринимает данный продукт покупатель [11].

Для определения органолептических показателей разработали 25-балловую шкалу с выделением пяти единичных показателей качества и пяти качественных уровней: 5 – отличное качество, 4 – хорошее качество, 3 – удовлетворительное, 2 – плохое, 1 – неудо-

влетворительное. Плохое качество отличается от неудовлетворительного тем, что товар остается безопасным и не обладает критическими дефектами, при неудовлетворительном качестве молочные консервы характеризуются наличием недопустимых дефектов. Качество изделий определяли в соответствии со следующей градацией: отличное – 4,5–5,0 баллов, хорошее – 4,4–3,5; удовлетворительное 3,4–2,5; плохое – 2,4–1,7; неудовлетворительное – менее 1,0 балла.

В работе при проведении исследований руководствовались общими положениями методологии проведения органолептического анализа, изложенного в ГОСТ ISO 6658-2016 [12].

Разработанная балловая шкала приведена в таблице 3.

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА С ПРИМЕНЕНИЕМ ДЕСКРИПТОРНО-ПРОФИЛЬНОГО
РАНЖИРОВАНИЯ И АНАЛИЗ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ МОЛОЧНЫХ КОНСЕРВОВ

Таблица 3 – Балловая шкала оценки

Table 3 – Point scale of assessment

Баллы	Характеристика показателя
5	<i>Вкус:</i> сладкий, чистый с выраженным вкусом пастеризованного молока, приятный. Без посторонних привкусов. <i>Запах:</i> свойственный, приятный, выраженный, молочный <i>Внешний вид:</i> однородная масса, глянцевая с чистой поверхностью <i>Консистенция:</i> однородная вязкая, равномерная по всей массе без наличия ощущаемых кристаллов молочного сахара, без осадка на дне банки, без комочков. <i>Цвет:</i> равномерный по всей массе. Белый с кремовым оттенком. Без посторонних оттенков.
4	<i>Вкус:</i> сладкий, чистый с вкусом пастеризованного молока, без посторонних привкусов. <i>Запах:</i> Свойственный пастеризованному молоку <i>Внешний вид:</i> однородная масса, глянцевая с чистой поверхностью <i>Консистенция:</i> Однородная вязкая по всей массе с наличием мало ощущаемых кристаллов молочного сахара, без комочков, без осадка на дне банки. <i>Цвет:</i> Равномерный по всей массе. Без посторонних оттенков
3	<i>Вкус:</i> Сладкий, с легким привкусом пастеризованного молока. Наличие посторонних привкусов <i>Запах:</i> менее выраженный, слабо выраженный запах пастеризованного молока <i>Внешний вид:</i> достаточно однородная масса, с чистой поверхностью <i>Консистенция:</i> однородная, достаточно вязкая по всей массе с наличием ощущаемых кристаллов молочного сахара, мучнистая <i>Цвет:</i> неравномерный по всей массе. Голубоватый или сероватый оттенок
2	<i>Вкус:</i> слишком сладкий или несладкий, с легким немолочным привкусом. С посторонними привкусами. <i>Запах:</i> с посторонним запахом <i>Внешний вид:</i> неоднородная масса, тусклая поверхность <i>Консистенция:</i> неоднородная, невязкая, с присутствием большого количества ощущаемых кристаллов молочного сахара, мучнистая, песчаная <i>Цвет:</i> неравномерный. С посторонними оттенками
1	<i>Вкус:</i> неприятный, с посторонними привкусами (кормовым, салыстым, гнилостным) <i>Запах:</i> несвойственный, с посторонними запахами <i>Внешний вид:</i> тусклая поверхность <i>Консистенция:</i> неоднородная, жидкая, с наличием кристаллов молочного сахара, ощущается хруст на зубах. <i>Цвет:</i> несвойственный.

Дегустационную оценку проводили методом закрытой дегустации, при этом образцы были закодированы трехзначными цифрами. Для оценки продукта использовали как целые, так и дробные баллы. Каждый показатель максимально оценивался в 5 баллов. Собранные данные обработали, по каждому показателю качества подсчитали сумму баллов для каждого образца, рассчитали средние баллы и общую оценку образца.

При оценке качества образцы сгруппировали в две группы в зависимости от состава: в первую группу вошли образцы, в составе которых заявлено нормализованное молоко (№№ 1, 3, 5), во вторую группу вошли образцы, в составе которых заявлено молоко цельное (№ 2, 6), также в данную группу вошел образец № 4, у которого в составе не указан вид молока.

Характеристика органолептических показателей методом профилирования приведена на рисунках 1–3.

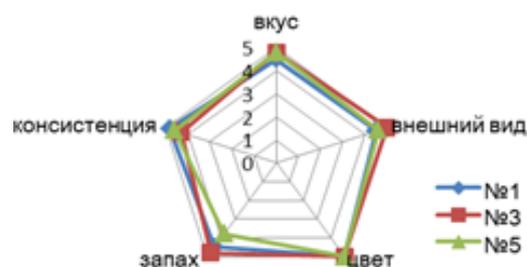


Рисунок 1 – Сравнение профилей дегустационной оценки образцов №№ 1, 3, 5

Figure 1 – Comparison of the profiles of the tasting evaluation of samples No. 1, 3, 5

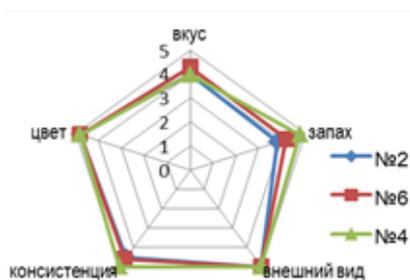


Рисунок 2 – Сравнение профилей дегустационной оценки образцов № 2, 4, 6

Figure 2 – Comparison of profiles of tasting evaluation of samples No. 2, 4, 6

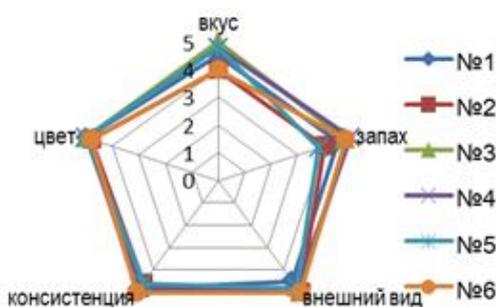


Рисунок 3 – Профилограмма дегустационного анализа образцов

Figure 3 – Profilogram of tasting analysis of samples

Следует отметить, что дегустаторы выявили следующие недостатки: образцы №№ 2, 6 имеют недостаточно вязкую консистенцию по сравнению с другими образцами. Образцы № 5, 6 характеризуются недостаточно выраженным запахом молочных продуктов. По вкусу наивысший балл получил образец № 5, цвет у всех образцов соответствует требованиям нормативного документа и оценивается на «отлично».

Таким образом, ранжирование образцов имеет следующий вид: № 3 > № 4 > № 1 > № 5 > № 6 > № 2.

Заключение. Проведен анализ потребительских свойств, выявлено соответствие маркировки и упаковки требованиям нормативной документации. Определены лучшие образцы по эстетическим и эргономическим характеристикам. По результатам дегустационной оценки выявлены лучшие образцы, проведено ранжирование в порядке снижения качественных характеристик по среднему арифметическому значению выставленных баллов. Установлено соответствие органо-

лептических показателей требованиям нормативных документов.

Полученные результаты могут представлять интерес для перерабатывающих молочных предприятий при установлении категории качества и для торговых организаций при формировании ассортимента молочных консервов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рынок молочных консервов в РФ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.dairynews.ru/news/rynok-molochnykh-konservov-v-rossii-proizvoditeli.html>. – Дата обращения 20.11.2020.
2. Химический состав российских пищевых продуктов: Справочник / под редакцией член-корр. МАИ, проф. И.М. Скурихина и академика РАМН, проф. В.А. Тутельяна. – Х46. – М. : ДеЛипринт, 2002. – 236 с.
3. ТР ТС 022/2011. Пищевая продукция и части её маркировки. – Утв. Решением Комиссии Таможенного союза от 09.12.2011. – № 881 – 29 с.
4. ГОСТ 31688-2012. Консервы молочные. Молоко и сливки сгущенные с сахаром. Технические условия. – Введ. 2013-07-01. – М. : Стандартинформ, 2013. – 17 с.
5. ГОСТ 29245-91. Консервы молочные. Методы определения физических и органолептических показателей. – Введ. 1993-07-01. – М. : Комитета стандартизации и метрологии СССР, от 29.12.91. – № 2331. – 9 с.
6. ТР ТС 005/2011. О безопасности упаковки. – Утв. Решением Таможенного союза от 16.08.2011. – № 769 – 35 с.
7. Гусева Т.Б., Караньян О.М., Куликовская Т.С. Особенности органолептической оценки молочной продукции // Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд. – 2020. – № 13. – С. 65–73.
8. Тихонова О.Ю., Резниченко И.Ю., Зоркина Н.Н. Исследование потребительских предпочтений в отношении маркировки пищевых продуктов и оценки ее качества // Техника и технология пищевых производств. – 2015. – № 1 (36). – С. 152–156.
9. Тихонова О.Ю. Оценка качества и конкурентоспособности маркировки пищевой продукции. Термины и определения // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2016. – № 5 (40). – С. 81–85.
10. Резниченко И.Ю., Тихонова О.Ю., Сельская И.Л. Правильная этикетка – залог успешных продаж // Пищевая промышленность. – 2019. – № 7. – С. 19–24.
11. Зайцева Н.С., Рубан Н.Ю. Оценка уровня качества шоколада с применением дескрипторно-профильного метода // АПК России. – 2020. – № 4. – Т. 27. – С. 706–710.
12. ГОСТ ISO 6658-2016. Органолептический анализ. Методология. Общее руководство. – М. : Стандартинформ, 2016. – 26 с. – Режим доступа : <http://docs.cntd.ru/document/1200139405/>. Дата обращения: 21.11.2020.

Информация об авторах

Т. А. Матвеева – эксперт по продукции винодельческой, ликёроводочной, пивобезалкогольной, минеральных вод, молока и молочной продукции санитарно-гигиенической лаборатории по исследованию пищевых продуктов и продовольственного сырья Центра гигиены и эпидемиологии в Кемеровской области.

И. Ю. Резниченко – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Управление качеством» Кемеровского государственного университета.

А. А. Мельникова – магистрант кафедры «Управление качеством» института инженерных технологий Кемеровского государственного университета.

REFERENCES

1. The market of canned milk in the Russian Federation. (2020). Retrieved from <https://www.dairynews.ru/news/rynok-molochnykh-konservov-v-rossii-proizvoditeli-.html>. (In Russ.).
2. Skurihin, I.M. & Tutel'yan, V.A. (2002). *Chemical composition of Russian food products: Handbook*. Moscow.: DeLi print (In Russ.).
3. Food products and parts of their labeling. (2011). *TR CU 022/2011 from 09.12.2011*. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).
4. Dairy canned food. Condensed milk and cream with sugar. (2013). *HOST 31688-2012 from 2013-07-01*. Moscow: Standardstinform (In Russ.).
5. Dairy canned food. Methods for determining physical and organoleptic characteristics. (1991). *HOST 29245-91 from 1993-07-01*. Moscow: Komiteta of standardization and metrology of the USSR. (In Russ.).
6. About the safety of packaging. (2011). *TR CU 005/2011 from 16.08.2011*. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).

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

Статья поступила в редакцию 04.12.2020; одобрена после рецензирования 12.02.2021; принята к публикации 17.02.2021.

The article was received by the editorial board on 04 Dec 20; approved after reviewing on 12 Feb 21; accepted for publication on 17 Feb 21.

7. Guseva, T.B., Karanyan, O.M. & Kulikovskaya, T.S. (2020). Features of the organoleptic evaluation of dairy products. *Innovative technologies for the production and storage of material assets for state needs*, (13), 65–73. (In Russ.).

8. Tikhonova, O.Yu., Reznichenko, I. Yu. & Zorkina, N.N. (2015). Research of consumer preferences in relation to food labeling and assessment of its quality. *Technics and technology of food production*, 1(36), 152–156. (In Russ.).

9. Tikhonova, O.Yu. (2016). Assessment of the quality and competitiveness of food labeling. Terms and definitions. *Technology and commodity science of innovative food products*, 5 (40), 81–85. (In Russ.).

10. Reznichenko, I.Yu., Tikhonova, O.Yu. & Selskaya, I.L. (2019). The correct label is the key to successful sales. *Food industry*, (7), 19–24. (In Russ.).

11. Zaitseva, N.S. & Ruban, N.Yu. (2020). Assessment of the quality level of chocolate using the descriptor-profile method. *APK of Russia*, 4(27), 706–710. (In Russ.).

12. Organoleptic analysis. Methodology. General leadership. (2016). *HOST ISO 6658-2016 from 2017-07-01*. Moscow: Standartinform. (In Russ.).

Information about the authors

T. A. Matveeva – expert in the production of wine, alcoholic beverages, beer and soft drinks, mineral waters, milk and dairy products of the sanitary and hygienic laboratory for the study of food products and food raw materials of the Center for Hygiene and Epidemiology in the Kemerovo Region.

I. Yu. Reznichenko – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Quality Management, Kemerovo State University.

A. A. Melnikova – Master's student of the Department of Quality Management, Institute of Engineering Technologies, Kemerovo State University.

Научная статья

05.18.15 – Технология и товароведение продуктов функционального и специализированного назначения и общественного питания (технические науки)

УДК 664.6

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.014

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ КОНТРОЛЬНЫХ ТОЧЕК ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МАКАРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Алексей Александрович Королев¹, Станислав Олегович Смирнов²,
Олия Фанавиевна Фазуллина³

^{1,2,3} Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, Измайлово, Россия

¹ korleh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7144-2522>

² sts_76@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8073-1238>

³ olfazullina@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5963-3692>

Аннотация. Макаaronная продукция популярна у населения во всем мире и относится к наиболее доступным пищевым продуктам, уровень потребления которых прогрессивно растет. Для снижения рисков выпуска некачественной продукции пищевые предприятия должны руководствоваться требованиями ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». По теме НИР разработаны рецептуры макаронных изделий на основе цельнозерновой полбяной муки с добавлением гречневой муки, порошков брокколи и листьев сельдерея. Разработанные изделия соответствуют требованиям ГОСТ 54656-2011 «Изделия макаронные с обогащающими добавками. Общие технические условия». При внедрении в производство новых продуктов необходимо разработать комплекс мероприятий, обеспечивающих их безопасность. Целью данной работы являлась разработка последовательности действий для определения и снижения рисков при производстве макаронных изделий. Проанализированы опасные факторы, влияющие на безопасность макаронных изделий. Определены критических контрольных точек (ККТ) проведено методом «Дерево принятия решения». Методы исследований по ГОСТ Р 51705.4-2001 «Системы качества. Управление качеством пищевых продуктов на основе принципов ХАССП. Общие требования». Представлен перечень потенциальных биологических (микробиологических), химических, физических опасностей, а также критические процессы, свойственные макаронному производству. Определены риски в ходе производственного процесса, пять ККТ, а также критические пределы для каждой ККТ и порядок превентивных и корректирующих действий при превышении этих пределов. Представлен алгоритм мониторинга ККТ, который способствует повышению качества и безопасности выпускаемой продукции, снижению брака, сокращению времени на принятие ответных мер при возникновении возможных проблем.

Ключевые слова: технологические риски, оценка риска, качество продукции, корректирующие действия, брак.

Благодарности: исследование выполнено в рамках Программы Фундаментальных научных исследований государственных академий наук (тема № 0529-2019-0065 «Разработка и оценка эффективности новых инновационных пищевых концентратов и продуктов диетического профилактического питания для спецконтингентов»).

Для цитирования: Королев А.А., Смирнов С.О., Фазуллина О.Ф. Определение критических контрольных точек при производстве макаронных изделий // Ползуновский вестник. 2021. № 1. С. 106–112. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.014.

Original article

DETERMINATION OF CRITICAL CONTROL POINTS IN THE PRODUCTION OF PASTA

Alexey A. Korolev¹, Stanislav O. Smirnov², Olya F. Fazullina³

^{1, 2, 3} Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Izmailovo, Russia

¹ korleh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7144-2522>

² sts_76@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8073-1238>

³ olfazullina@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5963-3692>

Abstract. Pasta products are popular among the population worldwide and are among the most affordable food products. The level of consumption of pasta products is growing progressively. To reduce the risks of producing low-quality products, food companies must comply with the requirements of TR CU 021/2011 "On food safety". Recipes for pasta based on whole-grain spelt flour with the addition of buckwheat flour, broccoli powders and celery leaves have been developed on the subject of research. The developed products meet the requirements of GOST 54656-2011 "Pasta Products with enriching additives. General specifications". When introducing a new product into production, it is necessary to develop a set of measures to ensure their safety. The purpose of this work was to develop a sequence of actions to identify and reduce risks in the production of pasta. Dangerous factors affecting the safety of pasta are analyzed. Critical control points (CCP) were determined using the "decision tree" method. Research methods according to GOST R 51705.4-2001 "Quality Systems. Food quality management based on HACCP principles. General requirements". A list of potential biological (microbiological), chemical, and physical hazards, as well as critical processes inherent in pasta production, is presented. Risks during the production process, five CCP, as well as critical limits for each CCP and the procedure for preventive and corrective actions when these limits are exceeded are determined. An algorithm for monitoring CCP is presented, which helps to improve the quality and safety of products, reduce defects, and reduce the time to respond to possible problems.

Keywords: technological risks, risk assessment, product quality, corrective actions, product defects.

Acknowledgements: the study was carried out within the framework of the Program of Fundamental Scientific Research of the State Academies of Sciences (topic No. 0529-2019-0065 "Development and evaluation of the effectiveness of new innovative food concentrates and products of dietary preventive nutrition for special patients").

For citation: Korolev, A.A., Smirnov, S.O. & Fazullina, O.F. (2021). Determination of critical control points in the production of pasta. *Polzunovskiy vestnik*, 1,106-112. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.014.

Макаронные изделия относятся к одним из самых популярных и доступных пищевых продуктов в мире. Уровень потребления макаронных изделий в России постоянно растет и в 2019 году составил 7,8 кг на душу населения [1].

Пищевые предприятия должны выпускать качественную и безопасную продукцию, удовлетворяющую потребности покупателей и отвечающую требованиям законодательства [2, 3, 4].

Макаронная продукция в Российской Федерации должна отвечать требованиям ГОСТ 31743-2017 «Изделия макаронные. Общие технические условия», ГОСТ 54656-2011 «Изделия макаронные с обогащающими добавками. Общие технические условия».

Для подтверждения безопасности пищевой продукции в соответствии с требованиями

ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» изготовитель (предприятие) должен разрабатывать, внедрять и сопровождать мероприятия, основанные на принципах ХАССП – системе Анализа рисков и критических контрольных точек (Hazard Analysis and Critical Control Points – HACCP) [5, 6, 7].

В основе этих принципов лежат: анализ потенциальных опасностей, оценка рисков, определение критических контрольных точек (ККТ) и их критических пределов в производственном процессе [8, 9, 10, 11].

Целью данной работы являлась разработка последовательности действий для определения и снижения рисков при производстве макаронных

изделий из цельнозерновой полбяной муки с добавлением гречневой муки, порошков брокколи, листьев сельдерея [12].

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

- выявить и оценить риски по каждому потенциально опасному фактору по всем этапам технологического процесса: от приемки сырья до реализации продукции;
- определить ККТ технологического процесса, критические пределы для каждой ККТ;
- разработать план превентивных или корректирующих мероприятий в случае превышения критических пределов;
- установить способность снижения выявленных рисков имеющимися средствами.

Материалы и методы

Определение ККТ и анализ опасных факторов, влияющих на безопасность макаронных изделий, проведено с использованием метода «Дерево принятия решения» [13].

Методы исследований по ГОСТ Р 51705.4-2001 «Системы качества. Управление качеством пищевых продуктов на основе принципов ХАССП. Общие требования».

Результаты и обсуждение

Анализ рисков проводили последовательно. Первоначально определили все потенциально опасные факторы. Все риски на предприятиях, выпускающих макаронную продукцию, подразделяют на три группы: биологические (микробиологические), химические и физические. Источниками рисков могут быть: сырье, упаковка, вода, оборудование, персонал, окружающая среда [14].

Биологические риски возникают вследствие деятельности живых организмов. Это микроорганизмы (сальмонеллы, молочнокислые бактерии, дрожжи, плесени), птицы, грызуны, вредители хлебных запасов, их токсины и продукты жизнедеятельности.

Химические риски включают: химикаты, ненамеренно попавшие; намеренно добавля-

емые (химические пищевые добавки, консерванты, красители); естественно возникающие продукты животного, растительного, микробного метаболизма (афлатоксин и др.).

Физические риски связаны с наличием посторонних предметов, которые не должны быть в пищевых продуктах (остатки упаковки, стекло, пластик, металлические включения и др.).

Затем проанализировали опасные факторы согласно схеме технологического процесса производства макаронных изделий, представленной на рисунке 1 [15].

Входной контроль сырья включает проверку на соответствие сопроводительным документам, определение показателей качества и безопасности. Подготовка сырья заключается в просеивании и взвешивании сухих компонентов (муки, овощных и яичного порошков), их магнитной очистке. Вода для замеса макаронного теста должна быть прозрачной, не содержать органических примесей, без посторонних вкуса и запаха, отвечать требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». Воду подогревают до температуры 35–40 °С и добавляют до достижения 32 % влажности теста. Замес и прессование проводят 25–30 минут. Сушка сырых макаронных изделий происходит на сетчатых металлических лотках в сушильном шкафу до влажности 13 % при температуре 130 °С и относительной влажности воздуха 85 % в течение 4 часов.

Макаронные изделия на основе цельнозерновой полбяной муки по показателям качества и безопасности отвечают требованиям ГОСТ 54656-2011 «Изделия макаронные с обогащающими добавками. Общие технические условия» [12].

Результаты проведенного анализа рисков при производстве макаронных изделий в виде перечня учитываемых опасных факторов представлены в таблице 1. Определены пять ККТ.

Таблица 1 – Критические контрольные точки при производстве макаронных изделий на основе цельнозерновой полбяной муки с добавлением гречневой муки, порошков брокколи и листьев сельдерея

Table 1 – Critical control points in the production of pasta based on whole grain spelled flour with the addition of buckwheat flour, broccoli powders and celery leaves

№	Этап	Контрольные параметры
1	2	3
ККТ 1	Приемка и хранение сырья и компонентов	Сопроводительные документы Крупность помола, влажность, зольность, кислотность Качество и количество клейковины муки Наличие металломагнитных включений Птицы, грызуны и продукты их жизнедеятельности Зараженность и загрязненность вредителями хлебных запасов

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ КОНТРОЛЬНЫХ ТОЧЕК
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МАКАРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Продолжение таблицы 1/ Continuation of table 1

1	2	3
ККТ 1		Содержание токсичных элементов: ртуть, мышьяк, свинец, кадмий, медь, цинк Микотоксины: афлатоксин В1, зеараленон, Т2-токсин, дезоксиниваленол Радионуклиды: цезий-137, стронций-90 Пестициды: гексахлорциклогексан (α , β , φ изомеры), ДДТ и его метаболиты, гексахлорбензол, ртутьорганические пестициды, 2, 4-Д кислота, ее соли, эфиры, бензапирен
ККТ 2	Подготовка компонентов к смешиванию	Масса, влажность, кислотность компонентов Соотношение рецептурных компонентов Наличие металломагнитных включений, стекла, пластика, продуктов жизнедеятельности персонала
ККТ 3	Замес и прессование	Влажность и температура макаронного теста Режимы замеса и прессования Наличие микроорганизмов: КМАФАнМ, БГКП, <i>V.cereus</i> , патогенные, в том числе сальмонеллы, дрожжи и плесени Остатки моющих и дезинфицирующих средств Температура и относительная влажность окружающей среды Пыль, посторонние предметы
ККТ 4	Сушка и стабилизация	Массовая доля влаги, температура полуфабриката Температура, время сушки Температура, влажность воздуха окружающей среды
ККТ 5	Хранение готовой продукции	Массовая доля влаги, кислотность, содержание золы Наличие микроорганизмов, токсичных элементов, микотоксинов, радионуклидов, пестицидов Металломагнитные примеси. Вредители хлебных запасов Температура и относительная влажность окружающей среды при хранении. Атмосферные осадки, пыль. Птицы, грызуны и продукты их жизнедеятельности. Срок хранения

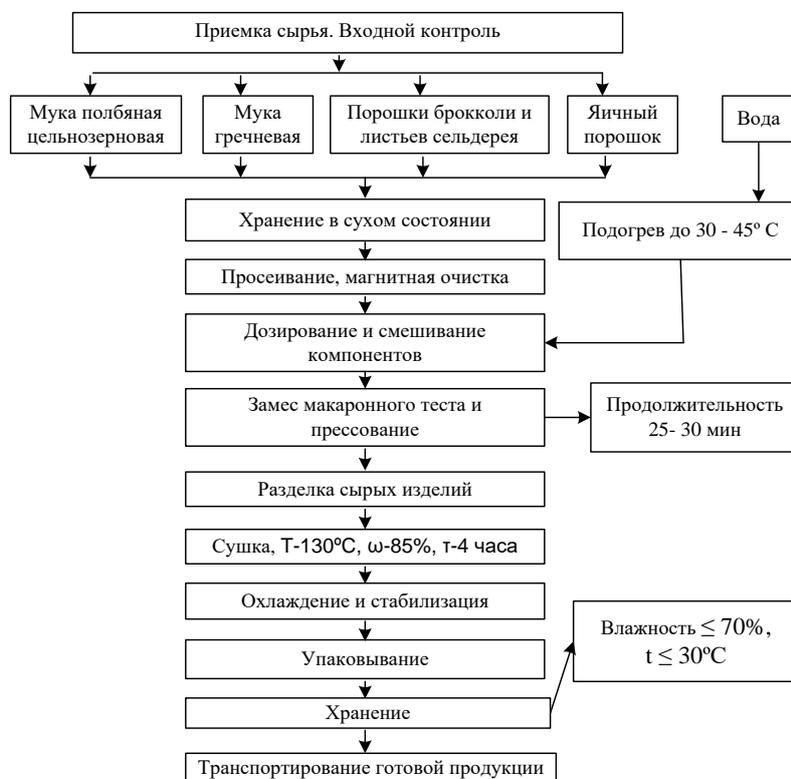


Рисунок 1 – Технологическая схема производства макаронных изделий на основе цельнозерновой полбяной муки [15]

Figure1 – Technological scheme for the production of pasta based on whole grain spelt flour [15]



Рисунок 2 – Алгоритм мониторинга ККТ по различным показателям

Figure 2 – Algorithm for monitoring CCP for various indicators

Для определения и управления рисками, определенными при анализе как значимые, использовали алгоритм мониторинга критических контрольных точек по различным показателям, представленный на рисунке 2.

После определения ККТ была решена следующая задача: установление критических пределов для ККТ, при достижении которых возрастают риски выпуска некачественной

продукции. Для каждой ККТ определены корректирующие действия в случае нарушения критических пределов. В таблице 2 представлены выявленные ККТ при производстве макаронных изделий на основе цельнозерновой муки полбы, их критические пределы, предупреждающие и корректирующие действия для каждой выявленной ККТ.

Таблица 2 – ККТ при производстве макаронных изделий на основе цельнозерновой муки полбы, их критические пределы и корректирующие действия

Table 2 – CCP in the production of pasta based on whole-grain spelt flour, their critical limits and corrective actions

ККТ	Опасность	Критические пределы	Мониторинг	Корректирующие и предупреждающие действия
ККТ 1	Наличие посторонних включений	Не допускается (ТР ТС 021/2011)	Проверка целостности сит просеивателя и очистка магнитов	Ремонт и отладка оборудования
ККТ 2	Брак	Влажность теста 29,1–31 % Температура теста не выше 40 °С Время 25–30 мин	Проверка соблюдения дозирования компонентов	Выявление причин и их устранение. Соблюдение ТИ
ККТ 3	Брак	Влажность полуфабриката 13,5–14 %, кислотность не более 4 град.	Контроль влажности. Проверка соблюдения технологических режимов	Выявление причин и их устранение. Соблюдение ТИ
ККТ 4	Рост микроорганизмов	Влажность изделий не более 13 %	Контроль влажности изделий. Контроль температурно-влажностного режима	Соблюдение режима температуры и влажности, увеличение кратности контроля
ККТ 5	Микробиологическая порча	Влажность изделий не более 13 %, t хранения ≤ 30 °С при ω ≤ 70%	Контроль влажности, кислотности. Проверка условий и срока хранения	Соблюдение режима температуры и влажности, увеличение кратности контроля

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ КОНТРОЛЬНЫХ ТОЧЕК ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МАКАРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Таким образом, определенные ККТ и их мониторинг по предложенному алгоритму (рисунок 2) позволят повысить качество и безопасность макаронных изделий. Принятие решений о применении ответных мер при риске возникновения опасностей будет своевременным, так как предусмотрены процедуры мониторинга, а также предупреждающие и корректирующие действия. Вследствие чего вероятности реализации рисков уменьшаются.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смелкина, В.С. Анализ российского рынка макаронных изделий / В.С. Смелкина // Актуальные вопросы отраслевых рынков и международной коммерции. – 2020. – № 1 (2). – <https://tiec.mgimo.ru/2020/2020-02/russian-macaroni-market-analysis>.
2. Яшкин, А.И. Анализ технологических рисков в производстве полукопченой колбасы / А.И. Яшкин, Л.А. Попова // Ползуновский вестник. – 2018. – № 3. – С. 74–78. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2018.03.013.
3. Швецова, А.В. Определение технологических показателей качества и безопасности кондитерского изделия «Ревитка» в промышленных условиях / А.В. Швецова, Г.Б. Пищиков // Ползуновский вестник. – 2016. – № 2. – С. 21–25.
4. Тригуб, В.В. Изучение качества и безопасности молочных продуктов / В.В. Тригуб, В.М. Николенко // Ползуновский вестник. – 2020. – № 3. – С. 44–47. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.03.008.
5. Аптрахимов, Д.Р. Разработка мероприятий по обеспечению безопасности производства макаронных изделий / Д.Р. Аптрахимов, М.Р. Мардар, Ф.Х. Смольникова [и др.] // АПК России. – 2016. – Т. 23. – № 2. – С. 453–458.
6. Konik, N. The System of Pasta Production Safety Management Based on the HACCP / N. Konik, S. Bogatyrev, R. Ahmerov [et al] // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2018. – Vol. 9 (6). – P. 1297–1302.
7. Глаголева, Л.Э. Алгоритм действия по определению и снижению рисков при производстве молочно-растительных продуктов / Л.Э. Глаголева, И.В. Коротких // Вестник ВГУИТ. – 2016. – № 2. – С. 110–117. DOI: 10.20914/2310-1202-2016-2-110-117.
8. Surkov, I.V. The Development of an Integrated Management System to Ensure the Quality Stability and Food Safety / I.V. Surkov, V.M. Kantere, K.Ya. Motovilov [et al] // Foods and Raw Materials. – 2015. – Vol. 3 – No. 1. – P. 111–119. DOI: 10.12737/11245.
9. Трофимова, Н.Б. Разработка программного продукта для автоматизации учета несоответствий и нарушений критических пределов на производстве / Н.Б. Трофимова, Е.О. Ермолаева, И.Е. Трофимов // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50. – № 1. – С. 167–175. DOI: 10.21603/2074-9414-2020-1-167-175.

10. Trafialek, J. The Risk Analysis of Metallic Foreign Bodies in Food Products / J. Trafialek, S. Kaczmarek, W. Kolanowski // Journal of Food Quality. – 2016. – Vol. 39 (4). – P. 298–407. DOI: 10.1111/jfq.12193.

11. Panghal, A. Role of Food Safety Management Systems in safe food production: A review / A. Panghal, N. Chhikara, N. Sindhu [et al] // J Food Saf. – 2018. – Vol. 38. – e12464. DOI: 10.1111/jfs.12464.

12. Фазуллина, О.Ф. Влияние дозировок нетрадиционных растительных добавок на качество макаронных изделий из полбы / О.Ф. Фазуллина, С.О. Смирнов // Ползуновский вестник. – 2020. – № 2. – С. 45–49. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.02.009.

13. The Institute of Food Science and Technology (UK). Hazard analysis critical control point. In Food and Drink – Good Manufacturing Practice, (Ed.). – 2018. DOI: 10.1002/9781119388494.ch3.

14. Schaarschmidt, S. The Fate of Mycotoxins During the Processing of Wheat for Human Consumption / S. Schaarschmidt, C. Fauhl-Hassek // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2018. – Vol. 17. – P. 556–593. DOI: 10.1111/1541-4337.12338.

15. Фазуллина, О. Ф. Разработка системы управления безопасностью процесса производства макаронных изделий / О. Ф. Фазуллина, С. О. Смирнов // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 4. – С. 736–748. DOI: 10.21603/2074-9414-2020-4-736-748.

Информация об авторах

А. А. Королев – кандидат технических наук, заведующий отделом пищевых концентратов и оборудования НИИ ПП и СПТ – филиала Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи.

С. О. Смирнов – кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе НИИ ПП и СПТ – филиала Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи.

О. Ф. Фазуллина – кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела пищевых концентратов и оборудования НИИ ПП и СПТ – филиала Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи.

REFERENCES

1. Smelkina, V.S. (2020). Analysis of the Russian pasta market. *Aktual'nye voprosy otraslevykh rynkov i mezhdunarodnoj kommercii*, 1(2). Retrieved from <https://tiec.mgimo.ru/2020/2020-02/russian-macaroni-market-analysis>. (In Russ.).
2. Yashkin, A.I. & Popova, L.A. (2018). Analysis of technological risks in the production of semismoked sausages. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 74–78. (In Russ.). DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2018.03.013.

3. Shvetsova, A.V. & Pishchikov G.B. (2016). Determination of technological indicators of quality and safety of the Revitka confectionery in industrial conditions. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 21–25. (In Russ.).
4. Trigub, V.V., Nikolenko V.M. (2020). Study of the quality and safety of dairy products *Polzunovskiy vestnik*, (3), 44–47. (In Russ.). DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.03.008.
5. Aprakhimov, D.R., Mardar, M.R., Smolnikov, F.H. [et al.]. (2016). Development of measures to ensure the safety of pasta production. *APK of Russia*. 23(2), 453–458. (In Russ.).
6. Konik, N., Bogatyrev, S., Ahmerov, R. [et al.] (2018). The System of Pasta Production Safety Management Based on the HACCP. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 9(6), 1297–1302. (In Russ.).
7. Glagoleva, L.E. & Korotkikh I.V. (2016). Algorithm of action to determine and reduce risks in the production of dairy and vegetable products. *Vestnik VGUIT*, (2), 110–117. (In Russ.). DOI: 10.20914 / 2310-1202-2016-2-110-117.
8. Surkov, I.V., Kantere, V.M., Motovilov K.Ya. & [et al.]. (2015). The Development of an Integrated Management System to Ensure the Quality Stability and Food Safety. *Foods and Raw Materials*, 3(1), 111–119. DOI: 10.12737/11245. (In Russ.).
9. Trofimova, N.B., Ermolaeva, E.O. & Trofimov, I.E. (2020). Development of a software product for automating the accounting of inconsistencies and violations of critical limits in production. *Technics and technology of food production*, 50(1), 167–175. (In Russ.). DOI: 10.21603 / 2074-9414-2020-1-167-175.
10. Trafialek, J., Kaczmarek, S. & Kolanowski, W. (2016). The Risk Analysis of Metallic Foreign Bodies in Food Products. *Journal of Food Quality*, 39 (4), 298–407. DOI: 10.1111 / jfq.12193.
11. Panghal, A., Chhikara, N., Sindhu, N. & [et al.]. (2018). Role of Food Safety Management Systems in safe food production: A review. *J Food Saf*, (38), e12464. Doi: 10.1111/jfs.12464.
12. Fazullina, O.F. & Smirnov S.O. (2020). Influence of dosages of non-traditional herbal supplements on the quality of spelled pasta. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 45–49. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.02.009. (In Russ.).
13. *The Institute of Food Science and Technology (UK)*. Hazard analysis critical control point. In *Food and Drink*. (2018). Good Manufacturing Practice. DOI: 10.1002 / 9781119388494.ch3.
14. Schaarschmidt, S. & Fauhl-Hassek, C. (2018). The Fate of Mycotoxins During the Processing of Wheat for Human Consumption. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, (17), 556–593. DOI: 10.1111 / 1541-4337.12338.
15. Fazullina, O.F. & Smirnov, S.O. (2020). New safety management system for pasta production. *Food Processing: Techniques and Technology*, 50(4). 736–748. (In Russ.). DOI: 10.21603/2074-9414-2020-4-736-748.

Information about the authors

A. A. Korolev – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Food Concentrates and Equipment, Research Institute PP and SPT, a branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety.

S. O. Smirnov – Candidate of Technical Sciences, Deputy Director for Research, Scientific Research Institute PP and SPT – a branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety.

O. F. Fazullina – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of the Department of Food Concentrates and Equipment, Research Institute PP and SPT, a branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety.

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

Статья поступила в редакцию 18.12.2020; одобрена после рецензирования 12.02.2021; принята к публикации 01.03.2021.

The article was received by the editorial board on 18 Dec 20; approved after reviewing on 12 Feb 21; accepted for publication on 01 Mar 21.

Научная статья

05.18.15 – Технология и товароведение продуктов функционального и специализированного назначения и общественного питания (технические науки)

УДК 664.87

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.015

ОЦЕНКА КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ ВТОРЫХ ОБЕДЕННЫХ БЛЮД

Ирина Юрьевна Резниченко¹, Виктория Олеговна Бочкарева²,
Яна Игоревна Гущина³

^{1,2,3} Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

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

² toria_v0@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1718-0557>

³ sama.venik@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2453-4387>

Аннотация. Статья посвящена оценке качества вторых обеденных блюд быстрого приготовления, занимающих определенное место в рационе. Ассортимент пищевых концентратов широк и разнообразен, в связи с чем, продукция должна быть привлекательна не только по ценовой категории, но и отвечать требованиям качества и потребительской оценке. В качестве образцов выбраны пищевые концентраты вторых обеденных блюд – каши быстрого приготовления различных торговых брендов, представленные на потребительском рынке г. Кемерово. При выполнении исследований применяли инструментальные и эвристические методы анализа, обработку экспериментальных данных проводили с помощью статистических методов. Оценивали органолептические и физико-химические показатели качества. Определение состояния упаковки и маркировки проводили в соответствии с требованиями действующих нормативных документов ТР ТС 022/2011, ТР ТС 005/2011. Показатели качества образцов определяли в соответствии с ГОСТ Р 50847-96. В работе приведены результаты оценки потребительских свойств выбранных объектов, отмечены достоинства и недостатки упаковки и маркировки объектов, представлены результаты анализа органолептических и физико-химических показателей качества в соответствии с требованиями действующих нормативных документов. Потребительские свойства характеризовали эргономические и эстетические показатели упаковки и маркировки образцов. Полученные результаты могут представлять интерес для заинтересованных лиц и для торговых организаций при формировании ассортимента пищевых концентратов каш быстрого приготовления.

Ключевые слова: пищевые концентраты, тенденции развития, каши быстрого приготовления, оценка потребительских свойств, маркировка, анализ качества, органолептические, физико-химические показатели.

Для цитирования: Резниченко И.Ю., Бочкарева В.О., Гущина Я.И. Оценка качественных характеристик и потребительских свойств вторых обеденных блюд // Ползуновский вестник. 2021. № 1. С. 113–120. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.015.

Original article

ASSESSMENT OF QUALITATIVE CHARACTERISTICS AND CONSUMER PROPERTIES OF SECOND LUNCH COURSES

Irina Yu. Reznichenko¹, Victoria O. Bochkareva², Yana I. Gushchina³

^{1, 2, 3} Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

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

² toria_v0@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1718-0557>

³ sama.venik@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2453-4387>

Abstract. *The article is devoted to the assessment of the quality of instant second lunch courses, which occupy a certain place in the diet. The assortment of food concentrates is wide and varied, and therefore, the products should be attractive not only in terms of price category, but also meet the quality requirements and consumer assessment. Food concentrates of the second lunch courses are instant porridge of various trade brands, presented on the consumer market in Kemerovo city, were selected as samples. Instrumental and heuristic methods of analysis were used, the processing of experimental data was carried out using statistical methods due to the research. Organoleptic and physico-chemical quality indicators were evaluated. Determination of the state of packaging and labeling was carried out in accordance with the requirements of the current regulatory documents TR CU 022/2011, TR CU 005/2011. The quality indicators of the samples were determined in accordance with GOST R 50847-96. The paper presents the results of evaluating the consumer properties of the selected objects, notes the advantages and disadvantages of packaging and labeling of objects; presents the results of the analysis of organoleptic and physicochemical quality indicators in accordance with the requirements of the current regulatory documents. Consumer properties were characterized by ergonomic and aesthetic indicators of packaging and labeling of samples. The obtained results may be interesting for concerned parties and trade organizations in terms of formation of an assortment of food concentrates for instant cereals.*

Keywords: *food concentrates, development trends, instant cereals, assessment of consumer properties, labeling, quality analysis, organoleptic, physico-chemical indicators.*

For citation: Reznichenko, I.Yu., Bochkareva, V.O. & Gushchina, Y.I. (2021). Assessment of qualitative characteristics and consumer properties of second lunch courses. *Polzunovskiy vestnik*, 1, 113-120. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.015

Введение

Динамика развития пищевых концентратной промышленности в РФ и современные тенденции направлены на формирование ассортимента продуктов здорового питания, производство диетических сухих завтраков с пониженным содержанием соли и сахара, с добавлением белковых обогатителей, пищевых волокон, минеральных веществ и витаминов [1–3]. Отрасль развивается с учётом новейших достижений в области технологии, с использованием автоматических систем управления технологическими процессами на базе микропроцессорных и цифровых решений [4].

Разработаны параметры энергетических технологий, гарантирующих высокую степень сохранения целевых компонентов сырья, отмечено, что инновационные технологические

решения по производству концентратов из пищевого сырья в экстракторах и выпарных аппаратах снижает энергозатраты в 1,5–2 раза и позволяет сохранить более 80 % летучих ароматических и вкусовых соединений [3]. Предложены разработанные составы пищевых продуктов с использованием пищевой инженерии формирования структуры в процессах замораживания и обезвоживания в качестве примеров смешивания воды в виде порошка и инкапсуляции и защиты чувствительных активных компонентов. Представлены методы получения однородных капель эмульсии при мембранном эмульгировании, а также использование фибрилл сывороточного протеина для послойной инженерии интерфейса для инкапсулятов [4].

Ориентируясь на меняющийся потребительский спрос и установку в сторону употребления продуктов здорового питания, ПИ-
ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 1 2021

ОЦЕНКА КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ ВТОРЫХ ОБЕДЕННЫХ БЛЮД

щевая отрасль предлагает пищевые концентраты на основе натурального сырья, высокой пищевой ценности, функциональной направленности, о чем свидетельствуют проведенные исследования и их результаты [5–7]. Представлены разработки комбинированных способов переработки бобовых с целью создания быстро восстанавливаемых продуктов с повышенным содержанием растительного белка, липидов, витаминов, кальция и железа [8, 9]. Предложены рецептуры и технологии пищевых концентратов с применением натурального растительного сырья: фруктово-ягодных порошков, красителей из дикорастущего сырья, амарантовой муки, продуктов переработки зерновых культур [10–12].

Такой интерес к пищевым концентратам обусловлен их несомненными достоинствами: быстротой и простотой приготовления, употреблением без дополнительной кулинарной обработки, длительными сроками хранения. Данные преимущества пищевых концентратов, как продуктов питания, важны в туристических походах, при поездках в поездах, пребывании в условиях, в которых приготовление пищи традиционным образом затруднено. Пищевые концентраты также пользуются особым спросом среди студентов.

Пищевые концентраты вторых обеденных блюд насчитывают широкий ассортимент. Лидером российского рынка по производству овсяных каш является компания Bistروف, продукция которой отличается высоким содержанием клетчатки до 8 г / 100 г, что удовлетворяет 11 % суточной нормы потребления) [16].

Значимость приобретает проблема выбора качественных пищевых концентратов на российском рынке продовольственных товаров. Следовательно, актуальность изучения потребительских свойств и оценки качества

пищевых концентратов, производимых в России, не вызывает сомнений.

Цель работы: оценка качества вторых обеденных блюд – каш быстрого приготовления путем исследования потребительских свойств и нормируемых показателей качества.

Исследования проводили в лабораторных условиях инжинирингового центра института инженерных технологий ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет».

Объекты и методы исследования

Объектами исследования выбраны образцы овсяных каш быстрого приготовления различных производителей и торговых марок. Характеристика объектов исследования приведена в таблице 1.

Методы исследования. Оценку качества образцов по органолептическим показателям проводили согласно требований ГОСТ Р 50847-96 «Концентраты пищевые первых и вторых обеденных блюд быстрого приготовления. Технические условия». Определение качества упаковки, массы нетто, массовой доли отдельных компонентов, объемной массы – по ГОСТ 15113.1, оценку внешнего вида, цвета, консистенции, вкуса и запаха проводили органолептическим путём визуального осмотра и опробования приготовленного продукта согласно ГОСТ 15113.3. Массовую долю влаги в сухих концентратах определяли по ГОСТ 5113.4, массовую долю металлических примесей, массовую долю посторонних минеральных примесей, зараженность вредителями хлебных запасов по ГОСТ 15113.2, восстанавливаемость по ГОСТ 19327. Обработку экспериментальных данных проводили статистическими методами. Анализ маркировки проводили на соответствие требованиям ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки» [13].

Таблица 1 – Характеристика объектов исследования

Table 1 – Characteristics of research objects

Наименование образца, производитель, торговая марка	Внешний вид	Заявленная на маркировке масса
1	2	3
1. Каша овсяная с черникой, ООО «Нестле Россия», Россия, 115054, г. Москва, Павелецкая, д 2, ТМ Быстров		40 г

Продолжение таблицы 1/ Continuation of table 1

1	2	3
2. Каша овсяная с клубникой, ООО «Ресурс», Россия, 457000, Челябинская обл., Увельский район, п. Увельский, ул. Железнодорожная, 59, ТМ Увелка		40 г
3. Каша овсяная на фруктозе с витаминами и микроэлементами с клубникой, ООО «ЛЕОВИТ нутрио», Россия, 127410, г. Москва, ул. Поморская, 33-2, ТМ Леовит		40 г
4. Каша овсяная с вишней, ООО «Стандарт», Россия, 426010, УР, город Ижевск, ул. Новоажимова, 12, ТМ Радово		35 г
5. Каша овсяная цельнозерновая ягодный мусс, «Полинка», 390027, Россия, город Рязань, Касимовская ш., д. 5, ТМ Мистраль		40 г

Результаты исследования и их обсуждение

Проведя исследование упаковки на соответствие требованиям ТР ТС 005/2011 «О безопасности упаковки», можно сделать следующие выводы: образцы упакованы в чистую, недеформированную, герметичную упаковку в виде пакета, запаянного со всех сторон. Упаковка, как критерий потребительской оценки, а также фактор, сохраняющий качество товара, имеет значение при выборе. Некоторые потребители предпочитают упаковку, совмещенную с посудой – контейнеры, которые предназначены для приготовления блюда. Данное обстоятельство сказывается на потребительских предпочтениях.

В целом все образцы по упаковке соответствует требованиям нормативных документов.

Анализ маркировки образцов показал,

что текст читаем, не смазан, присутствует вся необходимая информация в соответствии с требованиями ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция и части её маркировки».

Маркировка, как критерий потребительской оценки и выбора продукта, имеет значение с точки зрения представленной информации и ее оформления [8–10]. Наиболее доступная для прочтения маркировка у образца торговой марки Леовит № 3, которая содержит дополнительную информацию о биологической ценности продукта. У образца № 4 (ТМ Радово) маркировка также достаточная, доступная. С точки зрения потребительской оценки самой труднодоступной для прочтения маркировкой характеризуется образец № 2, информация нанесена на фоне розового цвета фиолетовым шрифтом, мелкая, что затрудняет ее восприятие.

Масса продукта, как потребительский

ОЦЕНКА КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ ВТОРЫХ ОБЕДЕННЫХ БЛЮД

критерий, должна соответствовать заявленной на этикетке. Оценка массы нетто образцов показала, что она соответствует заявленной и не превышает допустимых отрицательных отклонений для упаковочных единиц в потребительской упаковке менее от 0,1 до 1 кг (таблица 2).

Таблица 2 – Масса нетто образцов

Table 2 – Net weight of samples

№ образца	Масса нетто, заявленная на этикетке, г	Масса нетто фактическая, г
1	40	40,10 ± 0,5
2	40	41,72 ± 0,5
3	40	39,42 ± 0,5
4	35	38,52 ± 0,5
5	40	41,11 ± 0,5

Таблица 3 – Характеристика состава образцов

Table 3 – Characteristics of the composition of the samples

Образец	Состав, пищевая ценность (г / 100 г)
1. Каша овсяная, не требующая варки, с черникой	Хлопья овсяные из цельных злаков (75,5 %) (содержит глютен (клейковину), сахар, черника (2 %), соль морская, натуральный ароматизатор. Продукт может содержать орехи, молоко. Белки – 9,7 г, жиры – 5,4 г, углеводы – 67 г
2. Каша овсяная быстрого приготовления с клубникой со вкусом сливок	Хлопья овсяные, сахар, сухие сливки на растительной основе (кукурузный сироп, растительное масло, молочный белок), клубника, соль, ароматизатор (клубника). Может содержать следы молока и орехов. Белки – 10,0 г, жиры – 5,5 г, углеводы – 69,0 г
3. Каша овсяная «клубника» с витаминами и микроэлементами	Хлопья овсяные, фруктоза, клубника, заменитель сливок на растительной основе (кукурузный сироп, масло растительное, молочный белок), соль, инулин, ароматизатор клубника, витаминно-минеральный премикс (мальтодекстрин, цинкосульфат, витамин B6 биотин). Может содержать следы кунжута, орехов, сельдерея, сои и продуктов их переработки Белки – 9 г, жиры – 6 г, углеводы – 64 г
4. Каша овсяная с вишней без варки	Хлопья овсяные, сахар песок, вишня сушеная, соль пищевая. Белки – 11,0 г, жиры – 5,0 г, углеводы – 63,0 г
5. Каша овсяная цельно зерновая быстрого приготовления «ягодный мусс»	Хлопья овсяные, сахар, сливки сухие растительные (масло растительное, лактоза, белок молочный), ягоды сублимированные (черника, малина, клубника) соль поваренная пищевая, ароматизатор натуральный (лесные ягоды). Белки – 10,51 г, жиры – 5,9 г, углеводы – 67,12 г

Анализ органолептических показателей качества исследуемых образцов в сухом виде установил, что внешний вид и цвет образцов свойственные, овсяная крупа присутствует в виде частиц различной формы и размера, наличие ягод обнаружено в образцах №№ 1, 4, 5. Отсутствием видимых ягод характеризуются образцы №№ 2, 3. Вкус и запах образцов свойственные, без посторонних примесей.

Оценка органолептических показателей

В таблице 3 приведен состав и пищевая ценность исследуемых образцов как важная характеристика при оценке органолептических показателей качества.

Самый разнообразный рецептурный состав у образца № 3, в отличие от состава других образцов, в нем присутствует витаминный премикс. В составе только одного образца № 1 присутствует информация о доле ягоды. Информация о наличии аллергенов присутствует на маркировке образцов №№ 1, 2, 3. Пищевая ценность анализируемых образцов приблизительно одинакова, за исключением образца № 3, содержащего витаминно-минеральный премикс.

Указание полного состава дает возможность выбора продукта потребителю с учетом его вкусов и запросов.

образцов в приготовленном по способу, указанному на этикетке виде, показала, что наилучшими потребительскими свойствами обладал образец № 3, который характеризовался приятным свойственным клубнике вкусом и запахом, однородной консистенцией. Образцы №№ 1, 2 уступали по вкусу и запаху образцу № 3, характеризовались менее выраженными вкусоароматическими характеристиками и слегка неоднородной консистенции.

ей. Образцы №№ 4, 5 уступали по органолептическим показателям другим образцам.

Физико-химические показатели оцениваемых образцов приведены в таблице 4. Дополнительно определяли массовую долю ягод в образцах. Результаты исследований показали, что все нормируемые показатели

находятся в допустимых пределах и соответствуют требованиям нормативного документа. Доля ягод образца № 1 соответствует заявленной на этикетке, в других образцах данная информация отсутствует, доля ягод варьируется от 1,35 до 3,4 % к массе продукта.

Таблица 4 – Характеристика физико-химических показателей качества

Table 4 – Characteristics of physical and chemical quality indicators

Наименование показателя	Характеристика по ГОСТ	Фактическое значение
Массовая доля влаги, %, не более	10,0	№ 1 – 4,67 ± 0,1 № 2 – 5,96 ± 0,1 № 3 – 4,76 ± 0,1 № 4 – 6,94 ± 0,1 № 5 – 7,48 ± 0,1
Массовая доля металлических примесей (частиц не более 0,3 мм в наибольшем линейном измерении), %, не более	3 x 10 ⁻⁴	Отсутствует во всех образцах
Массовая доля посторонних минеральных примесей, %, не более	1 x 10 ⁻²	Не обнаружена во всех образцах
Посторонние примеси, зараженность вредителями хлебных запасов	Не допускаются	Не обнаружены во всех образцах
Восстанавливаемость (по способу, указанному на этикетке), мин, не более	15,0	№ 1 – 3 ± 0,3 № 2 – 5 ± 0,3 № 3 – 4 ± 0,3 № 4 – 3 + 0,3 № 5 – 4 ± 0,3
Массовая доля ягод, % от массы продукта	Не нормируется	№ 1 – 2, 3 ± 0,1 № 2 – 1,35 ± 0,1 № 3 – 3,4 ± 0,3 № 4 – 3,08 + 0,3 № 5 – 2,50 + 0,3

Заключение

В процессе оценки качества пищевых концентратов вторых обеденных блюд с целью установления соответствия требованиям нормативных документов выявлено соответствие упаковки и маркировки требованиям нормативных документов. Выполнение производителями требований ТР ТС 022/2011 в отношении информации позволяет потребителю удовлетворить спрос на информацию об основополагающих характеристиках продукции и сделать свой выбор. Недопустимых дефектов по органолептическим и физико-химическим показателям качества не выявлено. Проведенный выборочный анализ качества каш быстрого приготовления свидетельствует об усилении контроля за качеством продукции как со стороны производителя, так и со стороны крупных торговых сетей. Формирование ассортимента отечественных пищевых концентратов соответствующего

качества способствует повышению конкурентоспособности российских брендов, снижению риска для здоровья потребителя, более полному удовлетворению потребительского спроса на качественную продукцию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лындина М.И., Протункевич И.В., Абрамов В.Н. Динамика развития пищевого концентратного производства // Ползуновский вестник. – 2018. – № 4. – С. 26–30.
2. Резниченко И.Ю., Позняковский В.М., Драгунова И.А. Выбор сырья для мюсли-батончика // Пищевая промышленность. – 2007. – № 12. – С. 26.
3. Burdo O. System of Innovative Energy Technologies of Food Raw Material Dehydration / O.G. Burdo, S.G. Terziev, A.V. Gavrillov, I.V. Sirotyuk, M.V. Shcherbich // Problemele Energeticii Regionale. – 2020. – Т. 46. – № 2. – С. 92–107.
4. Roos Y. H. Food Engineering at Multiple Scales: Case Studies, Challenges and the Future—A European Perspective / Yrjö H. Roos, Peter J. Fryer,

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 1 2021

ОЦЕНКА КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ ВТОРЫХ ОБЕДЕННЫХ БЛЮД

Dietrich Knorr et al. // *Food Engineering Reviews*. – 2016. – Т. 8. – № 2. – С. 91–115.

5. Позняковский В.М., Резниченко И.Ю., Попов А.М. Экспертиза пищевых концентратов. Качество и безопасность : учеб. пособие для вузов. – Новосибирск : СУИ, 2010. – 236 с.

6. Сандракова И.В., Резниченко И.Ю. Исследование потребителей продуктов здорового питания // *Практический маркетинг*. – 2019. – № 12. – (274). – С. 22–27.

7. Гурьянов Ю.Г., Лобач Е.Ю. Оценка потребительских предпочтений к новым продуктам функционального назначения // *Ползуновский вестник*. – 2012. – № 2–2. – С. 187–190.

8. Королев А.А., Урубков С.А., Коптяева И.С. Зерно бобовых растений. Общая характеристика и применение в технологии пищекокцентратов // *Ползуновский вестник*. – 2020. – № 2. – С. 35–39.

9. Урубков С.А., Королев А.А., Смирнов С.О. Пути повышения биодоступности бобового сырья в технологии пищевых концентратов быстрого приготовления // *Современная наука и инновации*. – 2019. – № 3 (27). – С. 111–118.

10. Корячкина С.Я., Ладнова О.Л., Годунов О.А. Применение тонкодисперсных овощных и фруктово-ягодных порошков при производстве пищевых концентратов сладких блюд // *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*. – 2015. – № 2 (31). – С. 31–37.

11. Даудова Т.Н., Зейналова Э.З., Исригова Т.А. Разработка технологии производства пищевых концентратов с использованием красителей из дикорастущего сырья // *Проблемы развития АПК региона*. – 2018. – № 3 (35). – С. 164–168.

12. Егорова Е.Ю., Резниченко И.Ю. Обоснование применения амарантовой муки для разработки пищевых концентратов – полуфабрикатов безглютеновых кексов // *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*. – 2018. – № 2 (49). – С. 30–38.

13. ТР ТС 022/2011. Пищевая продукция и части её маркировки. – Утв. решением Комиссии Таможенного союза от 09.12.2011. – № 881. – 29 с.

14. Тихонова О.Ю., Резниченко И.Ю., Зоркина Н.Н. Исследование потребительских предпочтений в отношении маркировки пищевых продуктов и оценки ее качества // *Техника и технология пищевых производств*. – 2015. – № 1 (36). – С. 152–156.

15. Резниченко И.Ю., Тихонова О.Ю., Сельская И.Л. Правильная этикетка – залог успешных продаж // *Пищевая промышленность*. – 2019. – № 7. – С. 19–24.

Информация об авторах

И. Ю. Резниченко – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Управление качеством» Кемеровского государственного университета.

В. О. Бочкарева – обучающаяся кафедры «Управление качеством» Кемеровского государственного университета.

Я. И. Гущина – обучающаяся кафедры

«Управление качеством» Кемеровского государственного университета.

REFERENCES

1. Lyndina, M.I., Protunkevich, I.V. & Abramov V.N. (2018). Dynamics of development of food concentrate industry. *Polzunovskiy Vestnik*, (4), 26–30. (In Russ.). DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2018.04.005.

2. Reznichenko, I.Yu., Poznyakovsky, V.M. & Dragunova, I.A. (2007). The choice of raw materials for a muesli bar. *Food industry*, (12), 26. (In Russ.).

Burdo, O., Terziev, S.G., Gavrilov, A.V., Sirotyuk, I.V. & Shcherbich, M.V. (2020). System of Innovative Energy Technologies of Food Raw Material Dehydration. *Problemele Energeticii Regionale*, (46)2, 92–107. (In Russ.).

4. Roos, Y. H., Peter, J., Fryer, Dietrich, Knorr & other authors. (2016). Food Engineering at Multiple Scales: Case Studies, Challenges and the Future—A European Perspective. *Food Engineering Reviews*, 8(2), 91–115.

5. Poznyakovsky, V.M., Reznichenko, I.Yu. & Popov A.M. (2010). *Expertise of food concentrates. Quality and safety : a textbook for universities*. Novosibirsk : SUI. (In Russ.).

6. Sandrakova, I.V. & Reznichenko, I.Yu. (2019). Research of consumers of healthy food products. *Practical marketing*, 12 (274), 22–27. (In Russ.).

7. Guryanov, Yu.G. & Lobach, E.Yu. (2012). Assessment of consumer preferences for new functional products. *Polzunovskiy vestnik*, 2(2), 187–190.

8. Korolev, A.A., Urubkov, S.A. & Koptyaeva, I.S. (2020). The grain of leguminous plants. General characteristics and application of food concentrates in technology. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 35–39. (In Russ.). DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.02.007.

9. Urubkov, S.A., Korolev, A.A. & Sмирнов, S.O. (2019). Ways to increase the bioavailability of raw legumes in the technology of instant food concentrates. *Modern Science and Innovations*, 3(27), 111–118. (In Russ.).

10. Koryachkina, S.Ya., Ladnova, O.L. & Godunov, O.A. (2015). The use of finely dispersed vegetable and fruit-berry powders in the production of food concentrates for sweet dishes. *Technology and commodity research of innovative food products*, 2(31), 31–37. (In Russ.).

11. Daudova, T.N., Zeynalova, E.Z. & Isriгова T.A. (2018). Development of technology for the production of food concentrates using dyes from wild-growing raw materials. *Problems of development of the agro-industrial complex of the region*, 3(35), 164–168. (In Russ.).

12. Egorova, E.Yu. & Reznichenko, I.Yu. (2018). Justification of the use of amaranth flour for the development of food concentrates – semi-finished products of gluten-free muffins. *Technology and commodity science Technology and commodity science of innovative food products*, 2(49), 30–38. (In Russ.).

13. Food products and parts of their labeling. (2011). *TR CU 022/2011 from 09.12.2011*. Moscow: Standards Publishing House. (In Russ.).

14. Tikhonova, O.Yu., Reznichenko, I.Yu. &

Zorkina, N.N. (2015). Research of consumer preferences in relation to food labeling and assessment of its quality. *Technics and technology of food production*, 1 (36), 152–156. (In Russ.).

15. Reznichenko, I.Yu., Tikhonova, O.Yu. & Selskaya, I.L. (2019). The correct label is the key to successful sales. *Food industry*, (7), 19–24.

Information about the authors

I. Yu. Reznichenko – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Quality Management, Kemerovo State University.

V. O. Bochkareva – student of the Department of Quality Management, Kemerovo State University.

Ya. I. Gushchina – student of the Department of Quality Management, Kemerovo State University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 13.01.2021; одобрена после рецензирования 22.02.2021; принята к публикации 01.03.2021.

The article was received by the editorial board on 13 Jan 21; approved after reviewing on 22 Feb 21; accepted for publication on 01 Mar 21.

РАЗДЕЛ 2. ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Научная статья
05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)
УДК 661.741.141
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.016

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА РАСТВОРИТЕЛЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АСБЕСТОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНОГО КАУЧУКА

Ольга Михайловна Горелова¹, Владимир Александрович Сомин²,
Лариса Федоровна Комарова³, Михаил Сергеевич Некрасов⁴

^{1,2,3} Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

¹ osgor777@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7397-7803>

² vladimir_somin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3276-5174>

³ htie@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9321-5729>

⁴ Барнаулский завод автоформованных термостойких изделий, Барнаул, Россия,
ati.nekrasov@gmail.com

Аннотация. В работе рассмотрены технические и технологические аспекты выбора растворителя, используемого для производства асбестотехнических изделий. Среди факторов, ограничивающих выбор растворителей, необходимо отметить растворяющую способность, температуру кипения, растворимость в воде, химическую стойкость, а также стоимость. Изучены свойства органических растворителей и веществ, входящих в их состав. Для изучения возможности использования растворителя в производстве изделий на основе бутадиен-нитрильного каучука были проведены натурные испытания по его растворению в различных растворителях. Результаты экспериментальных исследований показали, что лучшими растворителями представленного образца каучука являются ароматические углеводороды: бензол, толуол, этилбензол, п-ксилол, изопропилбензол. При этом всем предъявляемым к растворителям требованиям в полной мере соответствует только бензол, в котором растворение происходит быстрее, чем в эталонном растворителе, в качестве которого был принят этилацетат.

Ключевые слова: растворитель, асбестотехнические изделия, этилацетат, бензол, толуол, бутадиен-нитрильный каучук.

Для цитирования: Обоснование выбора растворителя для производства асбестотехнических изделий на основе бутадиен-нитрильного каучука / О.М. Горелова, В.А. Сомин, Л.Ф. Комарова и др. // Ползуновский вестник. 2021. № 1. С. 121–124. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.016.

Original article

RATIONALE FOR CHOOSING A SOLVENT FOR THE PRODUCTION OF ASBESTOS-CONTAINING PRODUCTS BASED ON BUTADIENE-NITRILE RUBBER

Olga M. Gorelova¹, Vladimir A. Somin², Larisa F. Komarova³, Mikhail S. Nekrasov⁴

^{1,2,3} Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

¹ osgor777@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7397-7803>

² vladimir_somin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3276-5174>

³ htie@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9321-5729>

⁴ Barnaul plant of auto-molded heat-resistant products, Barnaul, Russia, ati.nekrasov@gmail.com

Abstract. *The paper considers the technical and technological aspects of the choice of the solvent used for the production of asbestos-containing products. Among the factors, limiting the choice of solvents, it is necessary to note the dissolving capacity, boiling point, solubility in water, chemical resistance, as well as cost. The properties of organic solvents and substances included in their composition have been studied. To study the possibility of using a solvent in the manufacture of products based on nitrile butadiene rubber, full-scale tests were carried out on its dissolution in various solvents. The results of experimental studies showed that the best solvents of the presented rubber sample are aromatic hydrocarbons – benzene, toluene, ethylbenzene, p-xylene, isopropyl benzene. At the same time, only benzene fully meets all the requirements for solvents, in which dissolution occurs faster than in the reference solvent, which was taken as ethyl acetate.*

Keywords: *solvent, asbestos products, ethyl acetate, benzene, toluene, nitrile butadiene rubber.*

For citation: Gorelova, O.M., Somin, V.A., Komarova, L.F. & Nekrasov, M.S. (2021). Justification of solvent choice for the production of asbestos products based on butadiene-nitrile rubber. *Polzunovskiy vestnik*, 1, 121-124. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.016.

Введение

К растворителям, применяемым в производстве асбестотехнических изделий (АТИ), предъявляется ряд технологических и организационных требований. При выборе растворителя учитывается его стоимость, ограничение оборота в РФ (отнесение к прекурсорам, в отношении которых устанавливаются определенные ограничения), токсичность. Технологическими требованиями являются хорошие растворяющие способности по отношению к каучукам, температура кипения, растворимость в воде, химическая стойкость как в условиях основного технологического процесса, так и на стадии рекуперации и др.

Рекуперация растворителей из паровоздушных смесей (ПВС) способствует ресурсосбережению на производстве и снижению воздействия на окружающую среду, но при этом она может быть очень затратным процессом как энергетически, так и по ресурсам. На стадии улавливания растворителей из ПВС в производстве АТИ чаще всего используется процесс адсорбции на активированных

углях. Десорбция традиционно осуществляется с помощью острого водяного пара. В дальнейшем для отделения углеводородов от воды применяются расслаивание, ректификация, экстракция и др. Менее затратно по вышеуказанной схеме выделять растворители, практически нерастворимые в воде путем расслаивания водно-органических смесей.

Целью работы являлся подбор растворителя для образца бутадиен-нитрильного каучука (БНК), который обладает необходимыми технологическими свойствами, не требует дополнительных мер безопасности и контроля при его транспортировке, хранении и использовании.

Экспериментальная часть

Согласно технологическим требованиям, при производстве резинотехнических изделий, температура кипения растворителя должна находиться в диапазоне от 70 до 120 °С. При меньшей температуре растворитель обладает хорошей летучестью и интенсивно испаряется при смешении с каучуком и

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА РАСТВОРИТЕЛЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АСБЕСТОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНОГО КАУЧУКА

формировании изделий. Верхний температурный диапазон продиктован параметрами греющего пара, который используется для удаления остатков растворителя и регенерации активированного угля на стадии улавливания из ПВС. По этому критерию подходят растворители: бензол, толуол, этилацетат, метилэтилкетон, диэтилкетон, метилпропилкетон, изооктан, тетрахлорметан и н-бутанол.

Хорошая растворимость углеводорода в воде осложняет процесс его регенерации. Поскольку десорбция проводится острым паром, возникает необходимость разделения водно-органической смеси. При малой растворимости углеводорода в воде процесс упрощается – достаточно провести расслаивание, для высоко растворимых веществ потребуется комплекс аппаратов, в которых реализуются и (или) сочетаются процессы ректификации и расслаивания.

Для разработки процесса рекуперации растворителя из ПВС и его регенерации были найдены данные по растворимости некоторых популярных углеводородов в воде.

Для этого из списка растворителей, подходящих по температуре кипения, следует исключить этилацетат, метилэтилкетон и н-бутанол в связи с их высокой растворимостью в воде даже при 20 °С [1]. Диэтилкетон, метилпропилкетон, тетрахлорметан в меньшей степени растворяются и могут рассматриваться как реагенты для растворения бутадиен-нитрильного каучука. В данном случае преимущество перед остальными имеют бензол и толуол.

Использование веществ, включенных в перечень прекурсоров, сопряжено с повышением требований к обеспечению безопасности на предприятии, требует контроля за их хранением, использованием, транспортировкой и т. д.

Наличие в перечне прекурсорвацетона, толуола, метилэтилкетона также делает нежелательным использование их с высокой концентрацией основного вещества при производстве изделий на основе бутадиен-нитрильного каучука [2].

Исходя из рекомендованных для каучуков групп растворителей [3], изучались свойства и растворяющая способность по отношению к предоставленному каучуку для следующих веществ и их композиций:

- насыщенные углеводороды: изооктан (гексан не рассматривался в связи с высокой летучестью, керосин – из-за наличия в своем составе углеводородов, кипящих при температурах свыше 180 °С);

- ароматические углеводороды: бензол, толуол, этилбензол, изопропилбензол, п-ксилол;

- бутиловый спирт;
- кетоны: ацетон, метилэтилкетон, диэтилкетон, метилпропилкетон, метилбутилкетон;
- галогеносодержащие углеводороды: тетрахлорметан (четыреххлористый углерод);
- простые и сложные эфиры: этилцеллозольв, этилацетат, бутилацетат.

Для подтверждения возможности использования того или иного растворителя в производстве изделий на основе БНК были проведены натурные испытания.

С этой целью брались образцы неизмельченного каучука массой от 1 до 2 г, помещались в бюксы с притертой крышкой и заливались растворителем. Бюксы с образцами плотно закрывались крышками и размещались в вытяжном шкафу. Таким образом, происходил контакт БНК и растворителя при комнатной температуре в течение нескольких суток. Растворение каучука определялось визуально.

Эталонным растворителем был принят этилацетат, с которым сравнивалось действие остальных растворителей. Результаты испытаний показали следующее:

– этилацетат растворяет образец за 3–4 дня, при этом он сильно набухает, полученный раствор вязкий;

– в бензоле растворение БНК происходит быстрее (за 1 день) раствор маловязкий, длительное время прозрачный, далее пожелтел;

– этилбензол: растворение образца происходит быстрее, чем этилацетатом (за 2 дня), раствор маловязкий, светло-желтый;

– изопропилбензол и толуол показали одинаковые результаты: растворение происходит за 2 дня, раствор маловязкий, желтого цвета;

– в изооктане образец не растворился и не набух;

– в бутаноле образец после длительного контакта с растворителем практически не изменился, незначительно набух;

– в тетрахлорметане образец каучука плавал на поверхности растворителя, при этом набухал, после чего растворился с образованием двухфазной системой с растворителем, цвет обоих слоев желто-коричневый;

– растворитель РЭС-5107 (состав: бутилацетат 17 % масс., толуол 66 % масс., п-ксилол 17 % масс.): растворение происходит в среднем за 2 дня, образовавшийся раствор маловязкий, белый, непрозрачный;

– в бутилацетате образец растворяется аналогично, как и в этилацетате, но раствор менее вязкий, что можно объяснить меньшей летучестью бутилацетата;

– в этилцеллозольве образец не набух и не растворился.

Заключение

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы.

Лучшими растворителями БНК являются ароматические углеводороды – бензол, толуол, этилбензол, п-ксилол, изопропилбензол. При этом всем предъявляемым к растворителям требованиям в полной мере соответствует только бензол.

Хорошими растворяющими способностями обладает бутилацетат, но у него температура кипения на 6 °С выше максимально допустимой по технологическим параметрам.

Растворяющая композиция РЭС-5107 эффективно растворяет образец БНК, но его компоненты – бутилацетат и п-ксилол – имеют температуры кипения за пределами допустимой.

Этилцеллозольв, бутанол и углеводороды парафинового ряда (изооктан) не растворяют БНК.

Окончательный выбор растворителя проводится на основании технико-экономического обоснования с учетом стоимости компонентов, их потерь в основном производственном процессе и при рекуперации, а также доли возвратного растворителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вайсбергер А., Проскауэр Э., Рид-дик Дж. Органические растворители. Физические свойства и методы очистки. – М.: Изд-во иностр. лит., 1958. – 520 с.

2. Постановление Правительства РФ от 30 июня 1998 г. № 681 «Об утверждении перечня наркотических средств, психотропных веществ и их прекурсоров, подлежащих контролю в Российской Федерации».

3. Аверко-Антонович Л.А. Химия и технология синтетического каучука: учебник для вузов по специальности "Хим. технология синтез. каучука" / Л.А. Аверко-Антонович, Ю.О. Аверко-Антонович, И.М. Давлетбаева, П.А. Кирпичников. – М.: Химия, КолосС, 2008. – 357 с.

Информация об авторах

О. М. Горелова – кандидат технических наук, доцент кафедры «Химическая техника и инженерная экология» Института биотехнологий, пищевой и химической инженерии Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

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

Статья поступила в редакцию 29.01.2021; одобрена после рецензирования 22.02.2021; принята к публикации 01.03.2021.

The article was received by the editorial board on 29 Jan 21; approved after reviewing on 22 Feb 21; accepted for publication on 01 Mar 21.

В. А. Сомин – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Химическая техника и инженерная экология» Института биотехнологий, пищевой и химической инженерии Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

Л. Ф. Комарова – доктор технических наук, профессор кафедры «Химическая техника и инженерная экология» Института биотехнологий, пищевой и химической инженерии Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

М. С. Некрасов – директор по перспективному развитию Барнаульского завода автоформованных термостойких изделий.

REFERENCES

1. Weisberger, A., Proskauer, E. & Reeddick J. (1958). *Organic solvents. Physical properties and cleaning methods*. Moscow.: Publishing house of foreign lit.

2. On approval of the list of narcotic drugs, psychotropic substances and their precursors subject to control in the Russian Federation. (1998). *Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 30 iyunya 1998 g. № 681*. Retrieved from <https://base.garant.ru/12112176>. (In Russ.).

3. Averk-Antonovich, L.A. Averk-Antonovich, Yu.O., Davletbaeva, I.M. & Kirpichnikov, P.A. (2008). *Chemistry and technology of synthetic rubber. Textbook for universities in the specialty "Chemical technology of synthetic rubber"*. Moscow.: Khimiya, KolosS. (In Russ.).

Information about the authors

O. M. Gorelova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemical Engineering and Engineering Ecology, Institute of Biotechnology, Food and Chemical Engineering, Polzunov Altai State Technical University.

V. A. Somin – Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Chemical Engineering and Engineering Ecology, Institute of Biotechnology, Food and Chemical Engineering, Polzunov Altai State Technical University.

L. F. Komarova – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Chemical Technology and Engineering Ecology, Institute of Biotechnology, Food and Chemical Engineering, Polzunov Altai State Technical University.

M. S. Nekrasov – Director for Perspective Development of the Barnaul Plant of Auto-molded Heat-Resistant Products.

Научная статья
05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)
УДК 66.067.1
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.017

МЕТОДЫ УЛЬТРА- И НАНОФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ХРОМСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Илья Геннадьевич Чигаев

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия
tlg12@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4203-2890>

Аннотация. Показана актуальность проблемы образования и сброса хромсодержащих сточных вод гальванических производств. Обоснована возможность организации процесса очистки сточных вод гальванических производств с применением мембранных методов. Показано, что при использовании обратного осмоса или нанофильтрации для удаления хрома из сточной воды ключевым моментом является ее предочистка от загрязнений, влияющих на основные характеристики мембран. Изучения процесса ультрафильтрации необходимо для определения эффективности ее использования для предочистки сточной воды перед нанофильтрацией. Получены зависимости эффективности и проницаемости для плоских и полволоконных ультрафильтрационных мембран из полисульфона, демонстрирующие целесообразность использования данной технологии для предочистки. Эффективность очистки для всех типов ультрафильтрационных мембран составила не менее 93 %. Установлено, что изменение проницаемости зависит от типа мембраны и не зависит от концентрации в изученном диапазоне. Приведены результаты исследований очистки модельных растворов и реальных сточных вод от хрома при различных концентрациях с применением нанофильтрационной плоской мембраны из полисульфона. Эффективность для всех случаев составила более 98 %. Доказана полнота и эффективность комбинированного использования ультрафильтрации и нанофильтрации для достижения высокой степени очистки и возможности организации замкнутого водооборотного цикла.

Ключевые слова: удаление нефтепродуктов, удаление хрома, сточные воды, ультрафильтрация, нанофильтрация, мембраны.

Для цитирования: Чигаев, И.Г. Методы ультра- и нанофильтрации для очистки хромсодержащих сточных вод гальванических производств // Ползуновский вестник. 2021. № 1. С. 125–130. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.017.

Original article

ULTRA- AND NANOFILTRATION METHODS FOR CHROMIUM-CONTAINING WASTE WATER TREATMENT OF GALVANIC PRODUCTION

Ilya G. Chigaev

Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia,
tlg12@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4203-2890>

Abstract. The urgency of the problem of formation and discharge of chromium-containing

© Чигаев И.Г., 2021

wastewater of galvanic industries is shown. The possibility of organizing the process of treating wastewater of galvanic industries, using membrane methods, has been substantiated. It is shown that when using reverse osmosis or nanofiltration to remove chromium from waste water, the key point is its pre-treatment from impurities that affect the main characteristics of membranes. The study of the ultrafiltration process is necessary to determine the effectiveness of its use for pretreatment of waste water before nanofiltration. Dependences of efficiency and permeability for flat and hollow fiber ultrafiltration membranes made of polysulfone have been obtained, demonstrating the feasibility of using this technology for pretreatment. The cleaning efficiency for all types of ultrafiltration membranes was at least 93 %. It was found that the change in permeability depends on the type of membrane and does not depend on the concentration in the studied range. The results of studies of purification of model solutions and real wastewater from chromium at various concentrations using a nanofiltration flat polysulfone membrane are presented. The efficiency for all cases was more than 98 %. The completeness and efficiency of the combined use of ultrafiltration and nanofiltration has been proven to achieve a high degree of purification and the possibility of organizing a closed water circulation cycle.

Keywords: removal of oil products, removal of chromium, waste water, ultrafiltration, nanofiltration, membranes.

For citation: Chigaev, I.G. (2021). Ultra- and nanofiltration methods for chromium-containing waste water treatment of galvanic production. *Polzunovskiy vestnik*, 1, 125-130. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.017

Введение

Несмотря на большое разнообразие методов удаления загрязняющих веществ из природных и сточных вод, проблемы, связанные с их эффективной очисткой, не становятся менее актуальными. Мембранные методы (ММ), основанные на разделении компонентов раствора при прохождении его через мембрану, являются современными и наиболее эффективными. Для очистки природных и сточных вод широкое распространение получили баромембранные методы, основанные на создании разности давления по обе стороны мембраны. Большое разнообразие баромембранных установок для доочистки природных вод позволяет получить фильтрат высокого качества при относительно небольших капитальных и эксплуатационных затратах, чего нельзя сказать об использовании ММ в сфере очистки сточных вод [1–3].

Практическое использование мембранных методов для очистки сточных вод сдерживается рядом факторов к основным, из которых можно отнести: большое разнообразие состава сточных вод, не позволяющая создать универсальные рекомендации эффективного использования ММ; концентрации загрязняющих веществ, многократно превышающие ПДК, приводящие к быстрому снижению проницаемости и селективности мембран, а также производительности установки в целом, что снижает привлекательность использования ММ проектными организациями и инжиниринговыми компаниями для указанных целей.

Рациональное использование ММ для очистки сточных вод должно основываться на тщательном изучении их состава и выделении компонентов, негативно влияющих на основные характеристики мембран: проницаемость и селективность. Предварительная подготовка воды, в связи с этим является одним из наиболее важных этапов.

В качестве примера нарушения указанных принципов можно привести реализацию схемы очистки сточных вод гальванического цеха на одном из машиностроительных предприятий г. Барнаула. Исходная вода характеризовалась повышенным содержанием ионов хрома (до 107 мг/дм³) и нефтепродуктов (до 6 мг/дм³). Схема основывалась на предварительном удалении нефтепродуктов (НП) сорбционным фильтром (активированный уголь) с последующей очисткой соединений хрома на обратноосмотической мембране. При этом в линию концентрата дозировался сульфит натрия для перевода Cr(VI) в Cr(III) с периодическим отделением осадка на механическом патронном фильтре с размером пор до 20 мкм. К основным недостаткам схемы можно отнести: недостаточная степень очистки от НП, приводившая к быстрому снижению проницаемости мембраны и повышенному расходу реагентов для ее регенерации; невысокая эффективность реагентной очистки концентрата по причине нахождения части соединений хрома в виде трудно разрушающихся комплексов; необходимость непрерывного контроля содержания НП в фильтрате сорбционного фильтра и коррекции дозы реагента для отмывки мембраны. Указанные

МЕТОДЫ УЛЬТРА- И НАНОФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ХРОМСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

недостатки приводили к превышению концентрации по соединениям хрома и НП в сбрасываемых сточных водах, значительным снижениям производительности установки по фильтрату, высоким эксплуатационным затратам и общей дискредитации мембранного метода.

Указанные недостатки можно решить заменой узла сорбционной очистки на ультрафильтрацию. Данная технология, также относящаяся к баромембранным методам, позволяет высокоэффективно удалять высокомолекулярные соединения, жиры и нефтепродукты, отрицательно влияющие на обратноосмотические и нанофильтрационные (НФ) мембраны.

Экспериментальная часть

Исследование селективности и проницаемости проводилось на лабораторной установке с использованием мембранных ячеек (рисунок 1) в тупиковом режиме фильтрации

и с рециркуляцией части концентрата в исходную емкость. Для работы были выбраны мембраны в виде диска диаметром 73 мм и полых волокон диаметром 2 мм (направление фильтрации – снаружи внутрь). Температура исходных растворов поддерживалась на значении 11,0 °С при колебаниях не более 0,5 °С, в связи с высокой чувствительностью проницаемости мембран при ее изменении.

С целью удаления нефтепродуктов исследовались плоские и полволоконные УФ мембраны из полисульфона. При разделении модельных растворов с концентрациями нефтепродуктов от 54 до 73 мг/л все мембраны показали высокую эффективность очистки (не менее 93 %), при достаточно продолжительном фильтроцикле (рисунок 2, а), который можно условно ограничить значением проницаемости в 100 л/(м²·ч). Зависимость эффективности характеризуется постоянным значением без ее изменения на всем протяжении эксперимента.



Рисунок 1 – Общий вид мембранных ячеек для исследования плоских мембран

Figure 1 – General view of membrane cells for the study of flat membranes

Начальная проницаемость для плоских и полволоконных мембран заметно не отличалась и находилась в пределах 220–250 л/(м²·ч), однако интенсивность ее снижения была различной, что удобно представить продолжительностью фильтроцикла. Для

плоской мембраны при исходных концентрациях от 63 до 71 мг/л фильтроцикл составил 104 минуты, для полволоконной – 40 минут, что объясняется более низкой скоростью потока над поверхностью мембраны, волокна которой собраны в пучок.

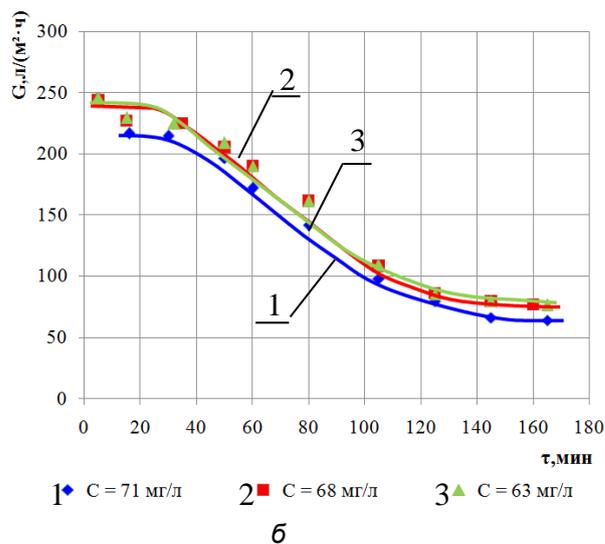
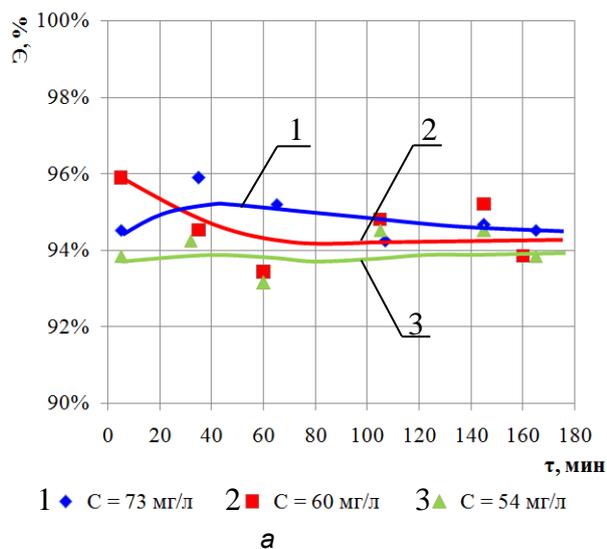


Рисунок 2 – Зависимости эффективности Э (а) и проницаемости G (б) плоской мембраны от времени фильтрации t при различных концентрациях нефтепродуктов

Figure 2 – Dependences of the efficiency E (a) and permeability G (b) of a flat membrane on the filtration time t at various concentrations of oil products

Удаление хрома из модельных растворов и сточных вод исследовалось на НФ мембранах из полисульфона в виде плоского диска диаметром 73 мм. Исходная вода из емкости с помощью вихревого насоса подавалась на мембранную ячейку. Давление над мембраной поддерживалось на постоянном значении 0,6 МПа, температура исходных растворов составляла 11,0 °С. Лабораторная установка работала в режиме рециркуляции,

при котором часть концентрата после мембранной ячейки возвращалась в исходную емкость. Результаты экспериментов с использованием модельных растворов показаны на рисунке 3, аналогичные значения эффективности были получены при очистке реальной сточной воды с концентрацией хрома 95 мг/л, предварительно очищенной на УФ мембране.

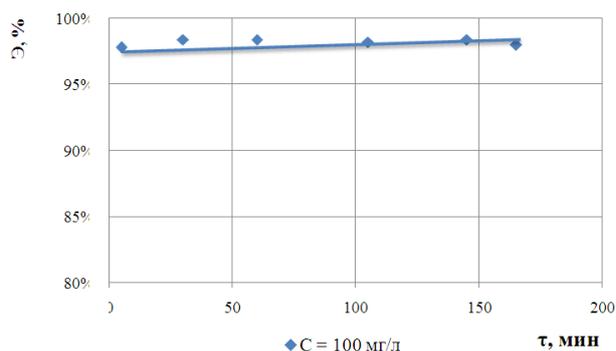
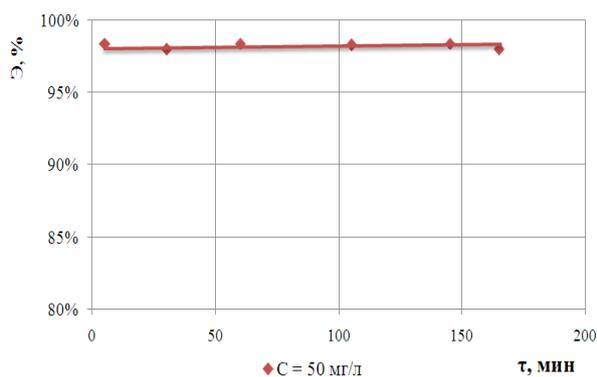


Рисунок 3 – Зависимости эффективности Э плоской мембраны от времени фильтрации t при различных концентрациях хрома

Figure 3 – Dependences of the efficiency E of a flat membrane on the filtration time t at various chromium concentrations

Обсуждение результатов

Использование УФ мембран для очистки сточных вод от нефтепродуктов позволяет

получить фильтрат с эффективностью не ниже 93 %, что обеспечит возможность эффективного применения НФ мембран.

Исследования показали, что эффектив-

МЕТОДЫ УЛЬТРА- И НАНОФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ХРОМСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

ность очистки от соединений хрома наблюдалась не менее 98 %, при исходной концентрации хрома от 15 до 102 мг/л. Снижение проницаемости не превышало 3 % от первоначального значения на протяжении 120 часов непрерывной работы мембраны.

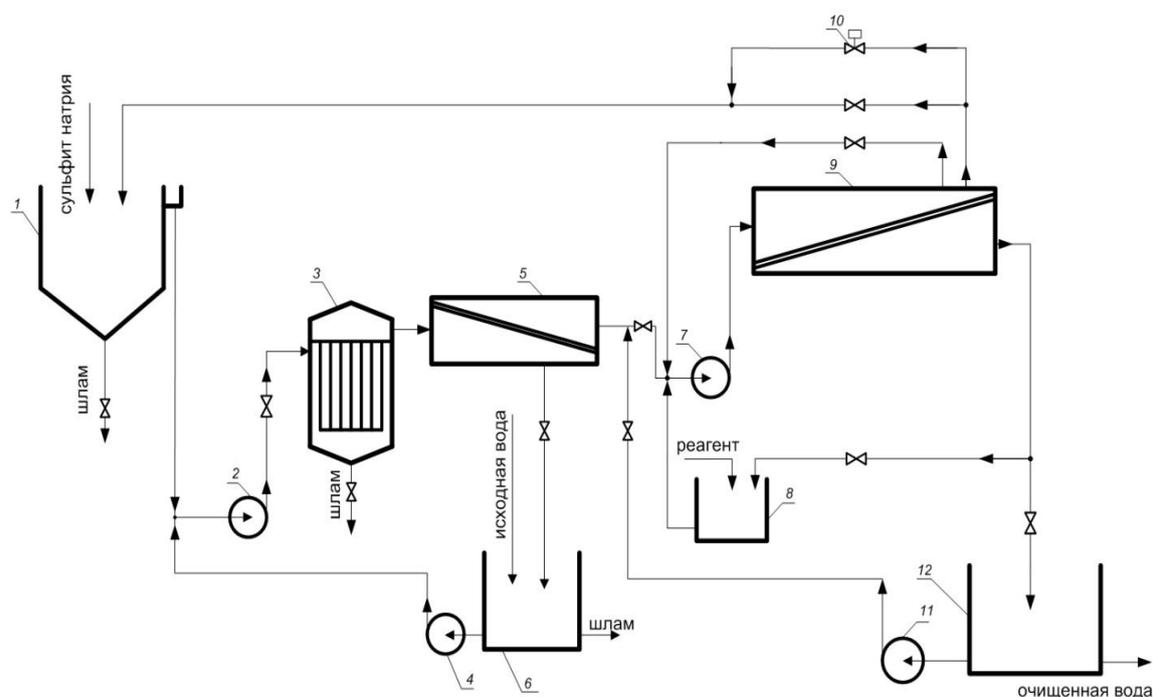
Хромат-ион в сточных водах при pH выше 3 находится в шести валентной форме, зачастую в соединении с кислородом образуя соединение $(Cr_2O_7)^{2-}$. Данная форма хрома позволяет удалить его с высокой эффективностью при использовании НФ мембран, характеризующиеся более высокой проницаемостью и меньшими рабочими давлениями по сравнению с ОО мембранами.

Заключение

На основании проведенной работы была разработана технологическая схема очистки

сточных вод, содержащих соединения хрома и нефтепродукты (рисунок 4). Исходная вода подается на УФ модуль с полуволоконными мембранами через патронный или дисковый фильтр для очистки от нефтепродуктов, ВМС и жиров. После предварительной очистки вода направляется в НФ модуль для основной очистки от соединений хрома, при этом, для оптимальной работы установки, часть концентрата возвращается перед НФ мембраной. Остальная часть концентрата направляется в отстойник с попутным дозированием сульфита натрия.

Особенностью данной схемы является отсутствие больших объемов регенерационных вод и концентрата, а снижение концентрации хрома в циркулирующем растворе обеспечивается реагентным осаждением.



- 1 – отстойник; 2, 4, 7, 11 – насос; 3 – фильтр патронный механический;
 5 – УФ мембранный модуль; 6 – емкость для исходной воды; 8 – реакгентная емкость;
 9 – НФ мембранный модуль; 10 – клапан сбросной (гидропромывка);
 12 – емкость для очищенной воды

Рисунок 4 – Схема очистки сточных вод

- 1 – sump; 2, 4, 7, 11 – pump; 3 – mechanical cartridge filter; 5 – UV membrane module;
 6 – container for source water; 8 – reagent container; 9 – NF membrane module;
 10 – relief valve (hydraulic flushing); 12 – container for purified water

Figure 4 – Scheme of wastewater treatment

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Москвичева Е.В., Москвичева А.В., Игнаткина Д.О., Сидякин П.А., Щитов Д.В., Кузьмина Т.А. Исследование взаимосвязи между физико-химическими свойствами промышленных сточных вод и методами их очистки // *Современные проблемы науки и образования*. – 2014. – № 6. – С. 98.
2. Волчек К.А., Каграманов Г.Г., Фарносова Е.Н. Комбинированные мембранные процессы очистки и переработки воды // *Химическая промышленность сегодня*. – 2010. – № 7. – С. 43–50.
3. Baker R.W. *Membrane Technology and Applications*. – Wiley (2004). – 552 p.
4. Hamzah, N., Nagarajah, M., Leo, C.P. Membrane distillation of saline and oily water using nearly superhydrophobic PVDF membrane incorporated with SiO₂ nanoparticles // *Water Science and Technology*. – 2018. – 78 (12). – С. 2532–2541.
5. Odey E.A., Wang K., Li Z., Etokidem E.U., Jin Z. Optimization of the enhanced membrane coagulation reactor for sewage concentration efficiency and energy recovery // *Environmental Technology (United Kingdom)*. – 2018. – 39 (24). – с. 3149–3158.
6. Sun F., Zhang N., Li F., Song L., Liang S. Dynamic analysis of self-forming dynamic membrane (SFDM) filtration in submerged anaerobic bioreactor: Performance, characteristic and mechanism // *Bioresource Technology*. – 2018. – 270. – С. 383–390.
7. Фазуллин Д.Д., Мачтакова А.И., Маврин Г.В., Шайхiev И.Г. Доочистка гальванических сточных вод ионообменной мембраной из ацетата целлюлозы с поверхностным слоем из полианилина // *Вестник Технологического университета*. – 2016. – Т. 19. – № 14. – С. 172–174.
8. Доможилов В.Ю. Мембраны и мембранная очистка сточных вод // *Научное обозрение*. – 2017. – № 11. – С. 44–47.

Информация об авторах

И. Г. Чигаев – кандидат технических наук, доцент кафедры «Химическая техника и инженерная экология» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

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

Статья поступила в редакцию 29.01.2021; одобрена после рецензирования 19.02.2021; принята к публикации 01.03.2021.

The article was received by the editorial board on 29 Jan 21; approved after reviewing on 19 Feb 21; accepted for publication on 01 Mar 21.

REFERENCES

1. Moskvicheva, E.V., Moskvicheva, A.V., Ignatkina, D.O., Sidiyakin, P.A., Shchitov, D.V., & Kuzmina, T.A. (2014). Study of the relationship between the physical and chemical properties of industrial wastewater and methods of their treatment. *Modern problems of science and education*, (6), P. 98. (In Russ.).
2. Volchek, K.A., Kagramanov, G.G., Farnosova, E.N. (2010). Combined membrane processes for water purification and processing. *Chemical industry today*, (7), 43–50. (In Russ.).
3. Baker, R.W. (2004). *Membrane Technology and Applications*. Wiley.
4. Hamzah, N., Nagarajah, M. & Leo, C.P. (2018). Membrane distillation of saline and oily water using nearly superhydrophobic PVDF membrane incorporated with SiO₂ nanoparticles. *Water Science and Technology*, 78 (12), 2532–2541.
5. Odey, E.A., Wang, K., Li Z., Etokidem, E.U. & Jin, Z. (2018). Optimization of the enhanced membrane coagulation reactor for sewage concentration efficiency and energy recovery. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 39 (24), 3149–3158.
6. Sun, F., Zhang, N., Li, F., Song, L. & Liang, S. (2018). Dynamic analysis of self-forming dynamic membrane (SFDM) filtration in submerged anaerobic bioreactor: Performance, characteristic, and mechanism. *Bioresource Technology*, (270), 383–390.
7. Fazullin, D.D., Machtakova, A.I., Mavrin, G.V. & Shaikhiev, I.G. (2016). Posttreatment of galvanic wastewater with an ion-exchange membrane made of cellulose acetate with a surface layer of polyaniline. *Vestnik of the Technological University*, 19(14), 172–174. (In Russ.).
8. Domozhilov, V.Yu. (2017). Membranes and membrane wastewater treatment. *Scientific Review*, (11), 44–47. (In Russ.).

Information about the authors

I. G. Chigaev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemical Engineering and Engineering Ecology, Polzunov Altai State Technical University.

Научная статья
05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)
УДК 628.316.12
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.018

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ СТОКОВ ПРЕДПРИЯТИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОФИЛЯ

Лариса Федоровна Комарова¹, Владимир Александрович Сомин²,

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

¹ htie@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9321-5729>

² vladimir_somin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3276-5174>

Аннотация. Рассмотрены сточные воды, образующиеся на предприятиях машиностроительного профиля. Охарактеризованы наиболее распространенные из них, образующиеся от промывки изделий и содержащие механические примеси, и масла (нефтепродукты). Приведен отечественный опыт очистки таких стоков на машиностроительных предприятиях с учетом рекомендованных наилучших доступных технологий. Выполнен анализ работы существующих очистных сооружений предприятия от нефтепродуктов, выявлены основные проблемы: повышение концентрации взвесей после флотации, залповые сбросы загрязнений из фильтров, что может быть обусловлено не выдерживанием необходимой скорости фильтрования. В качестве возможных путей совершенствования работы сооружений водоочистки предлагается заменить механические фильтры на сорбционные, используя имеющееся оборудование путем замены загрузки с керамзитовой на активированные угли или другие сорбенты. Это позволит сократить количество работающих фильтров, оставив в работе один или два последовательно работающих аппарата, один из фильтров будет находиться на регенерации и один в резерве.

Ключевые слова: нефтесодержащие стоки, механические и физико-химические методы очистки, нефтеловушки, флотаторы, фильтры.

Для цитирования: Комарова Л.Ф., Сомин В.А. Оптимизация работы очистных сооружений нефтесодержащих стоков предприятий машиностроительного профиля // Ползуновский вестник. 2021. № 1. С.131–134. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.018.

Original article

OPTIMIZATION OF TREATMENT FACILITIES OIL-CONTAINING WASTES OF ENTERPRISES ENGINEERING PROFILE

Larisa F. Komarova¹, Vladimir A. Somin²

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

¹ htie@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9321-5729>

² vladimir_somin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3276-5174>

Abstract. Waste waters generated at mechanical engineering enterprises are considered. The most common of them, formed from washing products and containing mechanical impurities and oils (petroleum products), are characterized. Russian experience of treating such effluents at mechanical

© Сомин В.А., Комарова Л.Ф., 2021

engineering enterprises is presented, taking into account the best recommended available technologies. The analysis of the operation of the existing treatment facilities of the enterprise from oil products was carried out. The main problems were identified: an increase in the concentration of suspended solids after flotation, volley discharges of contaminants from filters, which may be due to failure to maintain the required filtration rate. As possible ways to improve the work of water treatment facilities, it is proposed to replace mechanical filters with sorption ones, using the existing equipment by replacing the load from expanded clay to activated carbons or other sorbents. It can help to reduce the number of filters in operation, leaving one or two sequentially operating devices in operation: one of the filters would be on regeneration and one - in reserve.

Keywords: *oily effluents, mechanical and physicochemical treatment methods, oil traps, flotation devices, filters.*

For citation: Komarova, L.F. & Somin, V.A. (2021). Optimization of treatment facilities oil-containing wastes of enterprises engineering profile. *Polzunovskiy vestnik*, 1,131-134. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.018

Введение

В машиностроительную отрасль промышленности входят предприятия различного профиля станкостроения, сельскохозяйственного оборудования, приборостроения, инструментальные, электроаппаратуры и др., многие из которых осуществляют свою деятельность в г. Барнауле и Алтайском крае. Технологические процессы большинства из них во многом аналогичны, т. к. основными цехами являются сборочные, механические, инструментальные, кузнечные, прессовые, литейные, защитных покрытий, окраски и др. Эти предприятия расходуют до 10 % свежей воды, потребляемой отраслями промышленности.

Количество производственных сточных вод на машиностроительных заводах определяется характером производства, его мощностью и колеблется в значительных пределах. Различают несколько категорий стоков таких предприятий: чистые от охлаждения основного технологического оборудования, загрязненные механическими примесями и маслами, химически загрязненные, отработавшие смазочно-охлаждающие жидкости, шламодержащие стоки вентиляционных систем и др.

Из загрязненных стоков наиболее распространенными являются сточные воды от промывки изделий в механосборочном, кузнечнопрессовом, сварочном и других производствах. Они составляют от 10 % до 15 % суммарного водоиспользования и содержат до 300 мг/л механических примесей, 50–400 мг/л масел (нефтепродуктов) [1].

Очистку воды от нефтепродуктов осуществляют механическими, физико-химическими, химическими и биохимическими методами: выбор подходящего производят ис-

ходя из качественных и количественных показателей состава загрязненной воды и требуемых нормативов. При этом удаление нефтепродуктов, находящихся в нерастворимом состоянии, как правило, не вызывает сложностей, в то время как извлечение растворенных фракций требует дополнительных усилий. На большинстве предприятий большую часть нефтепродуктов и масел, содержащихся в сточных водах и находящихся в грубодисперсном состоянии, отделяют в нефтеловушках, после чего стоки, как правило, подвергают флотации, фильтрованию, а для глубокой очистки – сорбции [2]. Использование сорбционных методов позволяет достичь глубокой степени очистки, где в качестве адсорбентов используются различные неорганические и органические вещества природного и искусственного происхождения.

Существующие на ряде машиностроительных предприятий сооружения водоочистки от нефтепродуктов морально и физически устарели, работают на не запроектированную производительность, что приводит к значительному снижению эффективности и исключает возможность использовать очищенную воду в водооборотном цикле предприятия.

Экспериментальная часть

На машиностроительных предприятиях для очистки замасленных стоков от испытательных корпусов, как правило, существуют очистные сооружения для улавливания тяжелых механических примесей в песколовке, удаления минеральных масел по одному из вариантов: электрокоагуляция, напорная флотация, реагентная коагуляция с дальнейшей доочисткой в отстойнике или нефтеловушке, а также механическом фильтре. Стабилизационная очистка воды заключается

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ СТОКОВ ПРЕДПРИЯТИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОФИЛЯ

в хлорировании, после чего ее можно вернуть в производство [3].

Согласно информационно-техническому справочнику по наилучшим доступным технологиям (НДТ), для удаления нефтепродуктов из сточных вод предпочтительными являются следующие технологии (с учётом условий применимости) [4]:

- отделение основного количества неэмульгированных нефтепродуктов (жиров) в нефтеловушках (жироловках);

- отделение основного количества эмульгированных нефтепродуктов и жиров с помощью флотации и (или) аэробной биологической очистки;

- использование деэмульгирующих химических веществ перед последующей механической и физико-химической очисткой;

- тонкая очистка от нефтепродуктов с помощью коалесцентных фильтров, адсорбционных установок, биосорберов.

Начальное содержание нефтепродуктов в стоках машиностроительного предприятия может достигать 420–450 мг/л. Такие стоки необходимо усреднять в приемном резервуаре, а затем направлять на нефтеловушку, где могут быть удалены нерастворимые нефтепродукты до концентрации 100–150 мг/л и взвешенные вещества до 50 мг/л. Горизонтальная двухсекционная нефтеловушка рассчитана на производительность до 396 м³/ч, скорость движения воды в ней должна составлять 3–10 мм/с [5]. Однако снижение расхода сточных вод и их неравномерное поступление оказывает негативное влияние на работу нефтеловушки, уменьшая фактическую скорость движения воды в сооружении на порядок. Без ущерба эффективности очистки от нефтепродуктов второе отделение может быть отключено, что приведет к уменьшению эксплуатационных затрат.

После нефтеловушки стоки поступают на флотационную установку импеллерного типа. продолжительность флотации 10 мин, для повышения эффективности очистки во флотомашину подается коагулянт – раствор сульфата алюминия дозой до 100 мг/л очищенной воды. Содержание нефтепродуктов после очистки воды флотацией снижается до концентрации менее 25 мг/л, а взвешенных веществ нередко возрастает до 50 мг/л. Последнее можно объяснить тем, что подаваемый во флотомашину коагулянт представляет собой технический продукт – глинозем с содержанием основного вещества (12–13) %. Это значительно увеличивает концентрацию в воде взвесей, которые плохо удаляются

флотацией. Логичным выглядит замена коагулянта на флокулянт или отказ от коагулянта.

Доочистка стоков осуществляется в механических фильтрах, загруженных керамзитом и мраморной крошкой. Однако существенные колебания расходов воды и недостаточная эффективность очистки флотацией приводит к ситуации, когда не выдерживаются технологические параметры фильтрования, в частности, рекомендуемая скорость процесса на зернистых фильтрах от 5 до 12 м/ч. Уменьшение скорости фильтрования приводит к забивке фильтрующей загрузки; резкое увеличение скорости, гидравлические удары, одновременно наличие в воде нефтепродуктов и взвесей может привести к вымыванию уловленных загрязнений из фильтров и их неэффективной работе.

Предлагается заменить механические фильтры на сорбционные, используя имеющееся оборудование, сменив керамзитовую загрузку на активированные угли [6] или сорбенты, полученные из отходов производства [7]. Высота загрузки активированного угля составляет 1,8 м, общее количество фильтров можно сократить, оставив в работе один или два последовательно работающих аппарата, один из фильтров будет находиться на регенерации и один в резерве.

Заключение

Проведенный анализ работы сооружений водоочистки нефтесодержащих стоков машиностроительных предприятий позволяет предложить следующие мероприятия по оптимизации их работы.

Регулировать скорость движения воды в нефтеловушке, отключая одно из двух отделений при снижении расхода сточных вод.

Отказаться от использования коагулянта сульфата алюминия (глинозема) в процессе флотации или заменить его на флокулянт.

Заменить механические фильтры на сорбционные, сменив керамзитовую загрузку на активированный уголь или сорбционные материалы, полученные из отходов производства.

Предложенные мероприятия могут варьироваться для конкретных условий работы машиностроительного предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник. Т.1. – Калуга : Изд-во Н. Бочкаревой, 2003. – 884 с.

2. Кузубова Л.И., Морозов С.В. Очистка нефтесодержащих сточных вод : аналитический обзор. – Новосибирск : СО РАН, ГПНТБ, НИОХ, 2010. – 72 с.

3. Комарова Л.Ф., Полетаева М.А. Использование воды на предприятиях и очистка сточных вод в различных отраслях промышленности. – Барнаул : Из-во АлтГТУ, 2010. – 174 с.

4. Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. – М. : Бюро НДТ, 2015. – 129 с.

5. Справочник проектировщика. Канализация населенных мест и промышленных предприятий / Под ред. Самохина В.Н. – М. : Стройиздат, 1981. – 639 с.

6. Комарова Л.Ф., Сомин В.А. Инженерные методы защиты гидросферы. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2020. – 281 с.

7. Сомин В.А., Комарова Л.Ф. Новые сорбционные материалы для очистки природных и сточных вод. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2014. – 212 с.

Информация об авторах

Л. Ф. Комарова – доктор технических наук, профессор кафедры «Химическая техника и инженерная экология» Института биотехнологий, пищевой и химической инженерии федерального Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

В. А. Сомин – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Химическая техника и инженерная экология» Института биотехнологий, пищевой и химической инженерии федерального Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

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

Статья поступила в редакцию 10.02.2021; одобрена после рецензирования 24.02.2021; принята к публикации 26.02.2021.

The article was received by the editorial board on 10 Feb 21; approved after reviewing on 24 Feb 21; accepted for publication on 26 Feb 21.

REFERENCES

1. Timonin, A.S. (2003). *Engineering and ecological reference book*. Т.1. Kaluga : Publishing house of N. Bochkareva. (In Russ.).

2. Kuzubova, L.I. & Morozov, S.V. (2010). *Treatment of oily wastewater : an analytical review*. Novosibirsk : SB RAS, GPNTB, NIOCh. (In Russ.).

3. Komarova, L.F. & Poletaeva, M.A. (2010). *The use of water in enterprises and wastewater treatment in various industries*. Barnaul : AltSTU. (In Russ.).

4. Wastewater treatment in the production of products (goods), the performance of work and the provision of services at large enterprises. An information technology guide to the best available technology. (2015). Moscow : Bureau NDT (In Russ.).

5. *Designer handbook. Canalization of populated areas and industrial enterprises*. (1981). Samokhina V.N. [Ed.]. Moscow : Stroyizdat. (In Russ.).

6. Komarova, L.F. & Somin, V.A. (2020). *Engineering methods of hydrosphere protection*. Barnaul : Publishing house AltSTU. (In Russ.).

7. Somin, V.A. & Komarova, L.F. (2014). *New sorption materials for natural and waste water treatment*. Barnaul : AltSTU Publishing House. (In Russ.).

Information about the authors

L. F. Komarova – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Chemical Engineering and Engineering Ecology of the Institute of Biotechnology, Food and Chemical Engineering of the Polzunov Altai State Technical University.

V. A. Somin – Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Chemical Engineering and Engineering Ecology of the Institute of Biotechnology, Food and Chemical Engineering of the Polzunov Altai State Technical University.

Научная статья
05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)
УДК 543
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.019

ЭКСТРАКЦИОННО-АТОМНО-АБСОРБЦИОННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦИНКА (II) В КИСЛЫХ ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

Сергей Васильевич Темерев¹, Людмила Сергеевна Егорова²,
Игорь Викторович Индюшкин³, Светлана Павловна Ганиман⁴,
Татьяна Ивановна Колесникова⁵, Елена Анатольевна Лейтес⁶

^{1,2,4,5,6} Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия

¹ temerev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9964-3329>

² egorova@chem.asu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9937-4381>

⁴ lana.ganiman@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9697-324X>

⁵ kolesnikova.ccc@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9365-9530>

⁶ leites-elena@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0002-8620>

³ Центр гигиены и эпидемиологии в Алтайском крае, Барнаул, Россия
indigovic@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1785-4366>

Аннотация. Исследование относится к области аналитической химии и направлено на аналитическое применение легкоплавкого экстрагента с температурой ниже кипения воды и предназначено для практического применения в аналитических, эко-аналитических и медицинских лабораториях для извлечения ионных форм цинка (II) из кислых водных хлоридных растворов. В качестве объекта химического анализа для жидкостного или твердофазного концентрирования, как правило, служат природные поверхностные воды и технические растворы. В качестве химического индикатора выбран нормируемый в водных экосистемах микроэлемент – цинк (II). Предлагаемый авторами работы перспективный легкоплавкий расплав диацетилсалицилатагексилдиантиприлметания с температурой плавления ниже температуры кипения воды отличается высокой плотностью и гидрофобностью. Физико-химические свойства расплава обеспечивают простоту концентрирования ионов из кислого водного раствора, удобство выполнения подготовки целевого концентрата. Эффективность извлечения продемонстрирована на примере ионов цинка (II), извлекаемых из кислых хлоридных растворов. Водная и органическая фазы проанализированы на содержание цинка (II) инструментальным методом пламенной абсорбционной спектрометрии.

Ключевые слова: легкоплавкий экстрагент, извлечение, жидкостное и твердофазное концентрирование, расплав, концентрат, метод пламенной абсорбционной спектрометрии.

Для цитирования: Экстракционно-атомно-абсорбционное определение цинка (II) в кислых водных растворах / С.В. Темерев, Л.С. Егорова, И.В. Индюшкин и др. // Ползуновский вестник. 2021. № 1. С. 135–140. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.019.

EXTRACTION-ATOMIC-ABSORPTION DETERMINATION OF ZINC (II) IN ACIDIC WATER SOLUTIONS

Sergey V. Temerev¹, Lyudmila S. Egorova², Igor V. Indyushkin³,
Svetlana P. Ganiman⁴, Tatyana I. Kolesnikova⁵, Elena A. Leites⁶

^{1, 2, 4, 5, 6} Altai State University, Barnaul, Russia

¹ temerev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9964-3329>

² egorova@chem.asu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9937-4381>

⁴ lana.ganiman@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9697-324X>

⁵ kolesnikova.ccc@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9365-9530>

⁶ leites-elena@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0002-8620>

³ Center for Hygiene and Epidemiology in Altai Territory, Barnaul, Russia

indigovic@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1785-4366>

Abstract. *The study belongs to the field of analytical chemistry and is aimed at the analytical application of a low-melting extractant with a temperature below the boiling point of water and is intended for practical use in analytical, eco-analytical and medical laboratories for the extraction of ionic forms of zinc (II) from acidic aqueous chloride solutions. As an object of chemical analysis for liquid or solid-phase concentration, as a rule, natural surface waters and technical solutions serve. Zinc (II), a micro-element normalized in aquatic ecosystems, was chosen as a chemical indicator. The promising low-melting melt of diacetylsalicylate of hexyldiantiprilmelan with a melting point below the boiling point of water, proposed by the authors, is distinguished by high density and hydrophobicity. Physicochemical properties of the melt make it easy to concentrate ions from an acidic aqueous solution, and the convenience of preparing the target concentrate. The extraction efficiency is demonstrated by the example of zinc (II) ions extracted from acidic chloride solutions. The aqueous and organic phases were analyzed for zinc (II) content by instrumental flame absorption spectrometry.*

Keywords: *low-melting extractant, extraction, liquid and solid-phase concentration, melt, concentrate, flame absorption spectrometry method.*

For citation: Temerev, S.V., Egorova, L.S., Indyushkin, I.V., Ganiman, S.P., Kolesnikova T.I. & Leites, E.A. (2021). Extraction-atomic-absorption determination of Zinc (II) in acidic water solutions. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 135-140. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.019

Введение

Цинк, как объект химического анализа, весьма значим для природных и технических объектов. Электролиты цинкования, технические растворы, отходы производства цветных металлов, отвалы полиметаллических месторождений, биологические и растительные отходы, содержащие цинк, представляют интерес различных отраслей. Аналитическая химия цинка весьма подробно изучена, но настоящее исследование представляет теоретический интерес для экстракционных процессов извлечения ионных форм цинка (II) легкоплавким экстрагентом с температурой ниже кипения воды. Практическое применение экстракционно-инструментального метода определения цинка (II) весьма значимо для применения на практике в аналитических,

эко-аналитических и медицинских лабораториях для извлечения ионных форм цинка из кислых водных растворов (аналитических образцов природных поверхностных вод, атмосферных осадков, почвенных растворов, шахтных вод полиметаллических рудных месторождений, сточных вод гальванических производств, технологических электролитов, цинксодержащих медицинских препаратов, сточных вод пищевых производств и других жидких образцов химико-аналитического контроля). Экстракция легкоплавкими расплавами – эффективный метод индивидуального и группового концентрирования микроэлементов. Наиболее удобны легкоплавкие расплавы с температурой плавления ниже температуры кипения воды, т. к. вода и водные растворы – самые распространенные объекты химико-аналитического контроля живых и

ЭКСТРАКЦИОННО-АТОМНО-АБСОРБЦИОННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦИНКА (II) В КИСЛЫХ ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

техносферных систем. Очевидно, сродство реагентов к воде наиболее значимо в экстракционном концентрировании ионов из водных растворов. Ранее в качестве гидрофильного экстрагента применяли аналог ионной жидкости с катионом пиразолия: сульфосалицилатдиантипиния [1], который извлекал из твердых частиц снежной массы неорганические формы цинка, кадмия, свинца, меди с эффективностью в пределах 80 %. В работе авторов Темерева С.В. и Саваковой Ю.П. [2] представлен гидрофобный экстрагент ионов элементов из кислых растворов, основанный на извлечении ионов, в т. ч. цинка из кислых хлоридных растворов ионной жидкостью – легкоплавким расплавом ацетилсалицилатаантипиния с температурой плавления 84–85 °С и плотностью 1,2 г/см³.

Цель настоящей работы – экстракционное применение нового перспективного легкоплавкого экстрагента диацетилсалицилатагексилдиантипирилметания.

Экспериментальная часть

Для достижения поставленной цели необходимо, в первую очередь, исследовать физико-химические свойства различных молярных составов реагентов: физико-химические свойства различных молярных составов реагентов: гексилдиантипирилметана (ГДАМ) и ацетилсалициловой кислоты (AcSalH). ГДАМ синтезирован из энантиомерного альдегида марки ХЧ и антипина фармакопейной чистоты по методике, подробно представленной в работе [3]. AcSalH – известное лекарственное средство аспирин – также использовалось фармакопейной чистоты.

В таблице 1 представлены температуры плавления двухкомпонентных расплавов, которые приготовлены из точных навесок ГДАМ и AcSalH.

Дополнительно капиллярным методом определена плотность диацетилсалицилатагексилдиантипирилметания при 25 °С (2,41±0,02) г/см³ и при 77 °С (2,28±0,02) г/см³ соответственно. Сравнивая расплав [2] и новый легкоплавкий состав, представленный в таблице 1, можно отметить, что последний выгодно отличается по плотности (2,28±0,02) г/см³ при 77 °С и характеризуется более низкой температурой плавления (77±1) °С.

Физико-химические свойства обеспечиваются более тяжелым слабым основанием – гексилдиантипирилметаном (ГДАМ). Молярная масса ГДАМ составляет 472 г/моль, в то время как молярная масса антипина значи-

тельно меньше и составляет 188,23 г/моль. При этом растворимость ГДАМ в воде примерно в 20 раз ниже, чем у антипина. Уменьшение растворимости в водных растворах придает расплаву с ГДАМ преимущественную гидрофобность при двух кетогруппах в каждой молекуле и способности присоединять еще одну молекулу ацетилсалициловой кислоты по схеме (рисунок 1).

Таблица 1 – Температура плавления расплавов различных молярных соотношений реагентов ГДАМ и AcSalH

Table 1 – Melting temperature of melts of different molar ratios of the reagents HDAM and AcSalH

ГДАМ : AcSalH	Температура плавления, °С
2 : 1	83±0,2
1 : 1	80±2
1 : 2	77±1
1 : 0	111 °С (ГДАМ)
0 : 1	144 °С (AcSalH)
Аддитивная температура	127 °С

Более плотная органическая по составу и ионная по структуре при температуре плавления жидкость выступает коллектором ионных форм цинка (II). Депрессия температуры плавления продукта взаимодействия от температуры аддитивности исходных веществ составила более 40 °С. Понижение температуры плавления продукта диацетилсалицилатагексилдиантипирилметания – ионного ассоциата (рисунок 1) – результат протолитического взаимодействия слабого основания ГДАМ с ацетилсалициловой кислотой (AcSalH). При этом ГДАМ представляет собой двухкислотное основание, поэтому предпочтительнее использовать молярное соотношение ГДАМ : АСК = 1 : 2 с температурой плавления (77±1) °С (таблица 1). Расплав отличается от расплава [2] выраженной гидрофобностью и низкой растворимостью в воде, хлороводородной кислоте и обеспечивает большую величину отношения объемов водной и органической фаз (таблица 2).

Для проведения экстракции, первоначально готовили расплав ГДАМ с AcSalH. Для этого, в термостойкие бюксы вносили 0,33 г гексилдиантипирилметана и 0,67 г ацетилсалициловой кислоты (1 : 2) и нагревали до температуры около 140 °С сухие вещества реагентов до образования жидкости. В предварительно взвешенные центрифужные пробирки помещали 1,00 г полученного расплава, прибавляли микропипеткой необходимый объем раствора ионов цинка (II) с концентрацией 10 мкг/мл, приготовленный из ГСО и необходимый объем концентрированной хлороводородной кислоты HCl для создания определенной кислотности 3М раствор по HCl. Общий объем добавляемой водной фазы составлял 10,00 мл. Для экстракции пробирки с внесенными необходимыми растворами помещали на водяную баню и нагревали до температуры 80–85 °С. Органическая фаза вновь становилась жидкой, после чего пробирки тщательно встряхивали в течение 2–3 минут и остужали. Концентрат формировался *in situ* при нагревании на водяной бане при температуре 85–90 °С при энергичном периодическом встряхивании расплава и отдающей ионы цинка водной фазы в течение 2–3 минут. После остывания пробирки до комнатной температуры пробирку центрифугировали 2–3 минуты, затем рафинат сливали, а концентрат растворяли в 2 мл спирта, распыляли в воздушно-ацетиленовое пламя и регистрировали аналитический сигнал абсорбции атомов цинка при длине волны 213,9 нм. Однократное концентрирование обеспечивало эффективное извлечение цинка из 3 М раствора хлороводородной кислоты (таблица 2).

Таблица 2 – Распределение цинка (II) в системе ГДАМ–АСК–HCl–H₂O. Соотношение объема ВФ (10 мл) к расплаву (1,00 г : 2,23 г/см³) = 0,50 мл составляло 20. Введено 63,00 мкг Zn (II)

Table 2 – Distribution of zinc (II) in the HDAM–ASA–HCl–H₂O system. The ratio of the volume of VF (10 ml) to the melt (1,00 g : 2,23 g / cm³) = 0,50 ml was 20. Introduced 63,00 μgZn (II)

Снс, м оль/л	Найдено Zn(II), мкг		Dcp ± ε	Rcp ± ε
	ВФ	ОФ		
1,0	16,70± 0,06	46,30± 0,08	55±4	78±2
2,0	8,70± 0,05	54,30± 0,05	124±3	89±2
3,0	6,20± 0,02	56,80± 0,04	179±2	92±2
4,0	12,30± 0,03	50,70± 0,04	82±3	84±2

Интенсивность атомно-абсорбционного поглощения света от лампы с полым катодом регистрировали по аналитической линии цинка 213,9 нм с помощью спектрометра КВАНТ 2 МТ фирмы Кортек (Москва). Для минимизации инструментальных погрешностей регистрации аналитического сигнала в УФ области применяли дейтериевый спектральный корректор фона. Рабочие растворы цинка (II) для градуировочного графика готовили из ГСО 7770–2000 ионов цинка 1 мг/мл (фон – хлороводородная кислота) методом последовательного разбавления.

Диапазон концентраций градуировочных растворов: от 0,0500 до 0,5000 мкг Zn (II) / мл.

CZn (II) [мкг/мл] представлялась следующим уравнением:

$$A = 0,0047 + 0,897 \cdot CZn (II) \text{ [мкг/мл]} \quad (r = 0,999).$$

В таблице 2 представлены результаты распределения цинка после однократной экстракции.

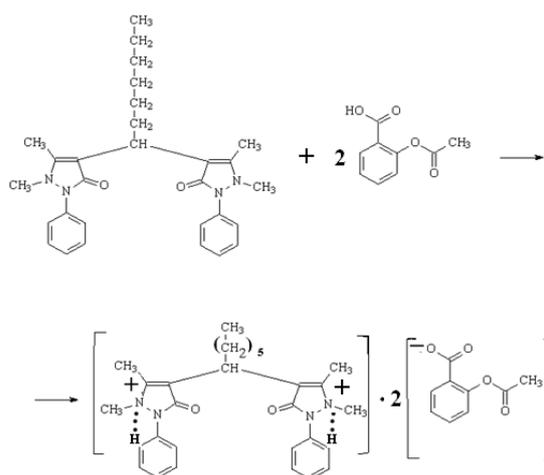


Рисунок 1 – Схема кислотно-основного взаимодействия гексилдиантипирилметана (ГДАМ) и ацетилсалициловой кислоты (AcSalH)

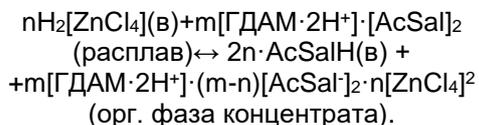
Figure 1 – Scheme of acid-base interactions of hexyldiantipyrylmethane (HDAM) and acetylsalicylic acid (AcSalH)

Для количественного извлечения ионов цинка из водной фазы кислого раствора необходимо повторить нагрев, встряхивание, остывание, центрифугирование 4–5 раз, а затем следует слить рафинат водной фазы, растворить концентрат ионов цинка в 2 мл спирта, а затем определять концентрат содержания цинка инструментальным методом химического анализа.

Ионный ассоциат [ГДАМ•2H⁺]•[Ацетилсалицилат⁻]₂ (рисунок 1) при расплавлении ак-

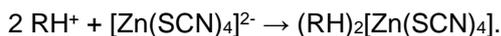
ЭКСТРАКЦИОННО-АТОМНО-АБСОРБЦИОННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦИНКА (II) В КИСЛЫХ ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

тивно взаимодействует с ацидокомплексом цинка (II), который доминирует в водной фазе в избытке хлороводородной кислоты:



Расплав действует как анионообменная колонка, способная концентрировать как макро-, так и микроколичества цинка (II). Полнота извлечения связывания цинка (II) в ацидокомплекс $\text{H}_2[\text{ZnCl}_4]$ в избытке HCl .

По геохимической классификации В.М. Гольдшмидта цинк (II) считается халькофильным и обладает выраженным сродством к сере. В качестве удобного лиганда в экстракции цинка (II) используют тиоцианат, который образует с протонированной формой производного пиразолона RH^+ ионный ассоциат [4, С. 134–141]:



Подробно равновесные взаимодействия $\text{Zn}(\text{II})$ с диантипириметаном изучены в статьях [4, С. 134–141; 5, С. 29–67]. Таким образом, распределение между водной фазой рафината и нижней фазой малорастворимого концентрата определяется наличием свободных протонов анионных лигандов (галогенидов, псевдогалогенидов).

Заключение

Предложен новый перспективный легкоплавкий экстрагент диацетилсалицилатгексилдиантипириметания: плавится при $(77 \pm 1)^\circ\text{C}$ и образует плотную гидрофобную ионную жидкость $(2,28 \pm 0,02) \text{ г/см}^3$, количественно извлекает ионы цинка (II) из кислых водных хлоридных растворов.

Экстракционно-атомно-абсорбционный способ извлечения ионных форм элемента легкоплавким расплавом ацетилсалицилатапиразолона из кислых водных растворов отличается тем, что к кислому 3,0 М раствору HCl в пробирке с пробкой, содержащему ионы цинка, прибавляют 1,00 г расплава диацетилсалицилатагексилдиантипириметания с молярным соотношением реагентов 1:2 с температурой плавления $(77 \pm 1)^\circ\text{C}$ и плотностью $(2,28 \pm 0,02) \text{ г/см}^3$, помещают пробирку с раствором на водяную баню $85\text{--}90^\circ\text{C}$ на 5 минут и интенсивно встряхивают 2–3 минуты для количественного извлечения ионов цинка. Действия повторяют 4–5 раз. Далее концентрат отделяют центрифугированием,

растворяют в 2 мл спирта и анализируют пламенным атомно-абсорбционным методом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Темерев С.В., Логинова О.Б. Экстракционно-вольтамперометрический способ определения цинка, кадмия, свинца, меди и железа в твердых образцах природных объектов // Патент РФ RU 2382355 С1. Опубл. 2 0.02.2010. – Бюл. № 5. – 10 с.
2. Темерев С.В., Савакова Ю.П. Способ группового концентрирования из кислых растворов и разделения ионов элементов ионной жидкостью // Патент РФ RU 2637236 С2. Опубл. 01.12.2017. – Бюл. № 34. – 12 с.
3. Диантипириметан и его гомологи как аналитические реагенты : Ученые записки. – Пермь : Пермский университет, 1974. – № 324. – 280 с.
4. Петров Б.И., Вержбицкий Ф.Р., Морозова А.М. Использование полярографии для изучения свойств диантипириметанов / Применение производных пиразолона в аналитической химии // Межвузовский сборник научных трудов. – Пермь : Изд-во Пермского ун-та, 1977. – 160 с. – С. 134–141.
5. Петров Б.И. Новое направление в экстракции // Сб. научн. трудов «30 лет химическому факультету Алтайского университета» ; под ред. Б.И. Петрова. – Барнаул : Изд-во «Азбука». 2004. – 240 с. – С. 29–67.

Информация об авторах

С. В. Темерев – доктор химических наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность и аналитическая химия» Алтайского государственного университета.

Л. С. Егорова – кандидат химических наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность и аналитическая химия» Алтайского государственного университета.

И. В. Индюшкин – кандидат химических наук, врач-исследователь Центра гигиены и эпидемиологии в Алтайском крае.

С. П. Ганиман – студент Алтайского государственного университета.

Т. И. Колесникова – студент Алтайского государственного университета.

Е. А. Лейтес – кандидат химических наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность и аналитическая химия» Алтайского государственного университета.

REFERENCES

1. Temerev, S.V. & Loginova, O.B. (2010). Extraction-voltammetric method for the determination of zinc, cadmium, lead, copper and iron in solid samples of natural objects. *RF Patent RU 2382355 C1. Publ. 20.02.2010. Bul. 5. (In Russ.)*.
2. Temerev, S.V. & Savakova, Yu.P. (2017). Method of group concentration from acidic solutions and separation of ions of elements with ionic liquid. *RF*

С. В. ТЕМЕРЕВ, Л. С. ЕГОРОВА, И. В. ИНДЮШКИН, С. П. ГАНИМАН,
Т. И. КОЛЕСНИКОВА, Е. А. ЛЕЙТЕС

Patent RU 2637236 G2. Published 01.12.2017. Bul. 34.
(In Russ.).

3. Diantiprylmethane and its homologues as analytical reagents. (1974). *Scientific notes*. Perm : Perm University, (324), (280 p). (In Russ.).

4. Petrov, B.I., Verzhbitsky, F.R., Morozova, A.M. (1977). The use of polarography to study the properties of diantipylmethanes. *The use of pyrazolone derivatives in analytical chemistry. Interuniversity collection of scientific papers*, (134–141). Perm : Perm University Publishing House. (In Russ.).

5. Petrov, B.I. (2004). New direction in extraction. *Sat. scientific. works «30 years of the chemical faculty of Altai University»*, (29–67). Barnaul : Azbuka Publishing House. (In Russ.).

Information about the authors

S. V. Temerev – Doctor of Chemistry, Associate Professor of the Department of Technosphere Safety and Analytical Chemistry, Altai State University.

L. S. Egorova – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Technosphere Safety and Analytical Chemistry, Altai State University.

I. V. Indyushkin – candidate of chemical sciences, researcher at the Center for Hygiene and Epidemiology in the Altai Territory.

S. P. Ganiman – student of Altai State University.

T. I. Kolesnikova – student of the Altai State University.

E. A. Leites – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Technosphere Safety and Analytical Chemistry, Altai State University.

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

Статья поступила в редакцию 14.12.2020; одобрена после рецензирования 10.03.2021; принята к публикации 15.03.2021.

The article was received by the editorial board on 14 Dec 20; approved after reviewing on 10 Mar 21; accepted for publication on 15 Mar 21.

РАЗДЕЛ 3. МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Научная статья

05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов (технические науки)

УДК 536.425:539.25

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.020

СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА Al–Co–Cr–Fe–Ni, ПОЛУЧЕННОГО ПРОВОЛОЧНО-ДУГОВОЙ АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ

Кирилл Александрович Осинцев¹, Виктор Евгеньевич Громов²,
Сергей Валерьевич Коновалов³, Ирина Алексеевна Панченко⁴,
Екатерина Степановна Ващук⁵

^{1,3} Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия

^{1,2,3,4} Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия

¹ kirilloss@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1150-6747>

² gromov@physics.sibsiu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5147-5343>

³ ksv@ssau.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4809-8660>

⁴ i.r.i.ss@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3656-2836>

⁵ Кузбасский государственный технический университет им Т.Ф. Горбачева, Прокопьевск, Россия, vaschuk@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1345-7419>

Аннотация. Приведено описание методики формирования высокоэнтропийного сплава состава Al–Co–Cr–Fe–Ni с использованием проволочно-дугового аддитивного производства. Представлены режимы и параметры работы наплавочного комплекса, траектории нанесения слоёв на подложку из стали Ст20. Полученный сплав имеет следующий элементный состав (масс %): 15,64 Al; 7,78 Co; 8,87 Cr; 22,31 Fe; 44,57 Ni с примесями 0,53 Si; 0,18 Cu; 0,098 Ti. Методами современного физического материаловедения показано, что размеры дендритов полученного ВЭС изменяются в пределах 40–80 мкм. Вдоль границ дендритных зерен и в объеме выявлены включения второй фазы. Методами картирования установлено, что границы зерен обогащены атомами хрома и железа, объем зерен обогащен атомами никеля и алюминия, а кобальт распределен в сплаве однородно. С помощью качественного анализа дифрактограмм определен фазовый состав сплава – AlNi и Al₂FeCo.

Ключевые слова: высокоэнтропийный сплав Al–Co–Cr–Fe–Ni, проволочно-дуговое аддитивное производство, структура, фазовый состав.

Для цитирования: Структурно-фазовое состояние высокоэнтропийного сплава Al–Co–Cr–Fe–Ni, полученного проволочно-дуговой аддитивной технологией / К.А. Осинцев, В.Е. Громов, С.В. Коновалов и др. // Ползуновский вестник. 2021. № 1. С. 141–146. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.020.

Original article

STRUCTURAL-PHASE STATE OF HIGH-ENTROPY Al–Co–Cr–Fe–Ni ALLOY OBTAINED BY WIRE-ARC ADDITIVE TECHNOLOGY

Kirill A. Osintsev¹, Victor E. Gromov², Sergey V. Konovalov³,
Irina A. Panchenko⁴, Ekaterina S. Vashchuk⁵

^{1,3} Samara National Research University, Samara, Russia

^{1,2,4} Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

¹ kirilloss@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1150-6747>

² gromov@physics.sibsiu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5147-5343>

³ ksv@ssau.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4809-8660>

⁴ i.r.i.ss@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3656-2836>

⁵ Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, Prokopyevsk, Russia
vashchuk@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1345-7419>

Abstract. A description of the method of forming a high-entropy alloy of the composition Al–Co–Cr–Fe–Ni using wire-arc additive production is given. The modes and operating parameters of the surfacing complex, the trajectory of the deposition of layers on the substrate made of St20 steel are presented. The resulting alloy has the following elemental composition (wt %): 15,64 Al; 7,78 Co; 8,87 Cr; 22,31 Fe; 44,57 Ni with 0,53 Si impurities; 0,18 Cu; 0,098 Ti. It has been shown by the methods of modern physical materials science that the sizes of dendrites of the obtained HEA vary within 40–80 microns. Inclusions of the second phase were revealed along the boundaries of dendritic grains and in the volume. It has been established by mapping methods that the grain boundaries are enriched with chromium and iron atoms, the grain volume is enriched with nickel and aluminum atoms, and cobalt is uniformly distributed in the alloy. The phase composition of the alloy, AlNi and Al₂FeCo, was determined using a qualitative analysis of diffraction patterns.

Keywords: high-entropy alloy Al–Co–Cr–Fe–Ni, wire-arc additive manufacturing, structure, phase composition.

For citation: Osintsev, K.A., Gromov, V.E., Konovalov, S.V., Panchenko, I.A. & Vashchuk, E.S. (2021). Structural-phase state of high-entropy Al–Co–Cr–Fe–Ni alloy obtained by wire-arc additive technology. *Polzunovskiy vestnik*, 1,141-146. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.020

В последние годы внимание исследователей в области физического материаловедения привлечено к созданию и исследованию высокоэнтропийных сплавов (ВЭС), обладающих уникальными свойствами [1, 2]. ВЭС образуют, как правило, путем смешивания пяти и более элементов с атомным соотношением каждого элемента 5–35 ат. % [3]. Варьированием состава ВЭС можно добиться высокой прочности [4, 5], твердости [6, 7], коррозионной стойкости [8, 9], износостойкости [10, 11], отличных механических свойств при высокой и низкой температурах [12–14]. Наиболее распространенным способом получения ВЭС в настоящее время является процесс вакуумно-дуговой наплавки, недостаток которого заключается в ограничении при производстве деталей сложной формы и больших размеров. Сравнительный анализ методов получения ВЭС с выявленными преимуще-

ствами и недостатками проведен в монографии [1]. В последнее десятилетие всё больше внимания уделяется технологиям аддитивного производства. Это обусловлено тем, что такие технологии позволяют получать изделия со сложной геометрией путем их послойного формирования, а не методами «вычитания», такими как механическая обработка, которые обычно используются при изготовлении изделий традиционными технологиями плавки.

Аддитивные технологии могут быть разделены по типу источника энергии, который используется для расплавления исходного материала: лазерная энергия, энергия пучка электронов, энергия электрической дуги и энергия плазмы. На рисунке 1 представлены статистические данные о частоте использования различных видов аддитивных технологий для изготовления высокоэнтропийных

СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА Al–Co–Cr–Fe–Ni, ПОЛУЧЕННОГО ПРОВОЛОЧНО-ДУГОВОЙ АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ

сплавов. Как видно из рисунка, наибольшее распространение получил метод селективного лазерного плавления. Далее идут плазменная дуговая наплавка и прямое осаждение металла. И совсем новым направлением с небольшим количеством опубликованных работ является проволочно-дуговое аддитивное производство.

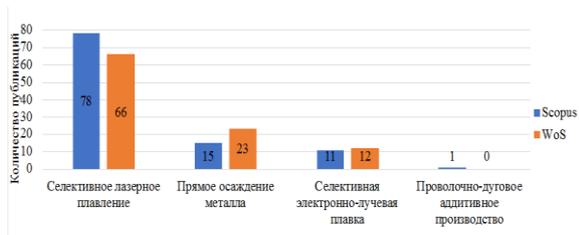


Рисунок 1 – Гистограмма распределения количества работ, в зависимости от технологий аддитивного производства, применяемых для получения высокоэнтропийных сплавов [1]

Figure 1 – Histogram of the distribution of the number of works, depending on the technologies of additive manufacturing, used to obtain High entropy alloys [1]

По сравнению с технологиями селективного лазерного плавления, прямого осаждения металла или селективной электронно-лучевой плавки, технология проволочно-дугового аддитивного производства (WAAM – wirearcadditivemanufacturing) использует металлическую проволоку в качестве исходного материала. Благодаря этому данный метод имеет высокую скорость осаждения (до 30 кг/ч), высокую степень использования материала, и обладает возможностью создания деталей больших размеров [15–17]. К недостаткам следует отнести точность разрешения 5–8 мм.

Целью настоящей работы является разработка технологии проволочно-дугового аддитивного производства для получения высокоэнтропийного сплава системы Al–Co–Cr–Fe–Ni и исследование его структурно-фазового состояния.

Для формирования объемных образцов (рисунок 2, а) высокоэнтропийного сплава системы Al–Co–Cr–Fe–Ni в качестве исходного материала была использована многокомпонентная проволока, состоящая из трех жил различного элементного состава: алюминиевая проволока (Al ≈ 99,95 %, диаметр 0,5 мм), хромоникелевая проволока X20H80 (Cr ≈ 20 %, Ni ≈ 80 %, диаметр 0,4 мм), а также проволока из прецизионного сплава 29НК (Co ≈ 17 %, Fe ≈ 54%, Ni ≈ 29 %, диаметр 0,4 мм). Много-

компонентная проволока была получена путем автоматизированного скручивания данных трех жил (рисунок 2, б) на оригинальной авторской установке. Выбор проволок данных марок и их диаметра был обусловлен тем, что они обеспечивали получение высокоэнтропийного сплава предварительно рассчитанного состава.

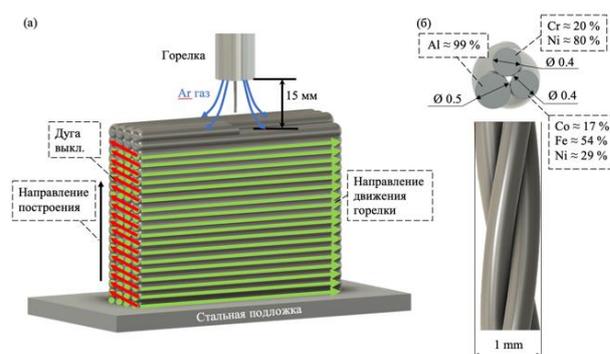


Рисунок 2 – (а) Схема проволочно-дугового аддитивного производства с использованием проволоки, состоящего из 3 жил; (б) 3D-модель использованного провода [1]

Figure 2 – (a) Schematic of wire-arc additive manufacturing using wire consisted of 3 cores; (b) 3D-model of the used wire [1]

Для подбора оптимального режима скручивания, обеспечивающего успешное (без застревания и разрывов) прохождение проволоки через направляющий канал и сопло горелки, варьировались частота вращения принимающей и подающих катушек. Диаметр комбинированной проволоки, полученной данным методом, составил ≈ 1 мм.

Изготовление образцов ВЭС осуществлялось послойным нанесением на подложку из стали с помощью технологии проволочно-дугового аддитивного производства в атмосфере инертного газа (Ar ≈ 99,99 %) (рисунок 2, а). Параметры работы наплавочного комплекса были следующими: скорость подачи проволоки – 8 м/мин, напряжение – 17 В, скорость движения горелки – 0,3 м/мин, скорость подачи газа (Ar) – 14 л/мин.

При формировании образцов ВЭС были использованы 3 подхода: 1) нанесение всех слоев металла «слева – направо», температура подложки – 25 °С; 2) нанесение всех слоев металла «слева – направо», температура подложки – 250 °С; 3) нанесение слоев металла «слева – направо, затем справа – налево» и наоборот, температура подложки – 250 °С (рисунок 3).

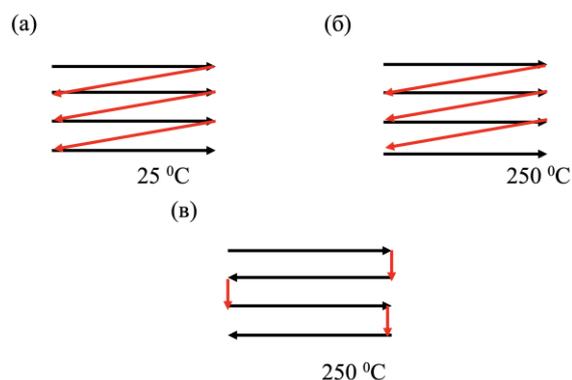


Рисунок 3 – (а) Траектория наплавления слоев образцов по режиму 1, (б) Траектория наплавления слоев образцов по режиму 2, (в) Траектория наплавления слоев образцов по режиму 3. Черными стрелками указано направление движения горелки с включенной дугой, красными – с выключенной

Figure 3 – (a) Trajectory of deposition layers of samples according to mode 1, (b) Trajectory of deposition of sample layers according to mode 2, (c) Trajectory of deposition of sample layers according to mode 3. Black arrows indicate the direction of movement of the torch with the arc on, red – off

Полученные заготовки высокоэнтропийного сплава имели размеры около 60 x 140 x 20 мм и представляли собой параллелепипеды, состоящие из 20 наплавленных слоев в высоту и 4 слоев в толщину. Рентгенофлуоресцентный анализ, проведенный на спектрометре Shimadzu XRF-1800, показал, что полученный сплав имеет следующий элементный состав (масс. %): 15,64 Al, 7,78 Co, 8,87 Cr, 22,31 Fe, 44,57 Ni. Также в составе сплава присутствует атомы примесных элементов (масс. %) 0,53 Si, 0,18 Cu, 0,098 Ti, входящие в состав исходных проволок.

Структурно-фазовое состояние сплава анализировали методами сканирующей (микроскопы «LeOЕvo 50», Carl Zeiss) и просвечивающей (прибор JEM 2010 Jeol) электронной дифракционной микроскопии и рентгенофазового анализа (рентгеновский дифрактометр Shimadzu XRD 6000).

Характерное изображение структуры образцов ВЭС, полученное методами сканирующей электронной микроскопии, приведено на рисунке 4. Травление поверхности образцов ВЭС приводит к выявлению дендритной структуры (рисунок 4, а). Размеры дендритов

изменяются в пределах от 40 мкм до 80 мкм. Вдоль границ и в объеме дендритов выявляются включения второй фазы (рисунок 4, б, включения указаны стрелками). Методами картирования удалось установить, что эта фаза обогащена атомами Fe и Cr, объем зерен обогащен атомами никеля и алюминия, а кобальт распределен в сплаве однородно. Качественный анализ дифрактограмм выявил присутствие следующих фаз: AlNi и Al₂FeCo.

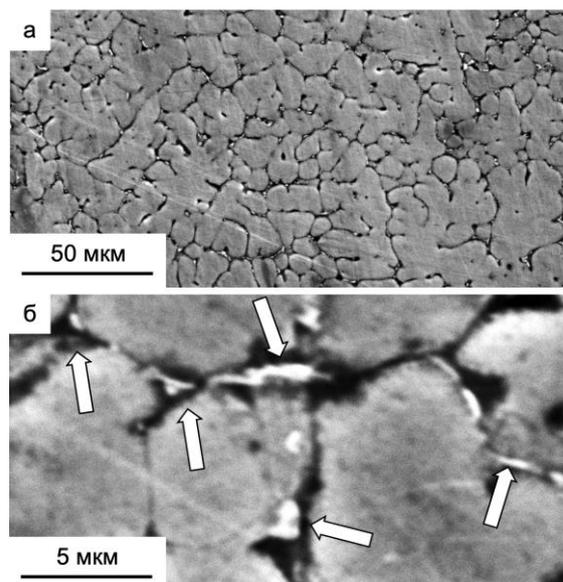


Рисунок 4 – Микроструктура ВЭС. Стрелками на (б) указаны включения второй фазы. Сканирующая электронная микроскопия

Figure 4 – Microstructure of WPP. Arrows in (b) indicate the inclusions of the second phase. Scanningelectronmicroscopy

Таким образом, с помощью технологии проволочно-дугового аддитивного производства изготовлены образцы ВЭС состава Al–Co–Cr–Fe–Ni. В качестве исходного материала была использована многокомпонентная проволока, состоящая из трех жил различного элементного состава. Полученный сплав имеет следующий элементный состав (масс. %): 15,64 Al, 7,78 Co, 8,87 Cr, 22,31 Fe, 44,57 Ni. Методами сканирующей электронной микроскопии поперечного травленного шлифа установлено, что размеры дендритов сплава изменяются в пределах от 40 мкм до 80 мкм.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (проект № 20-19-00452).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Громов В.Е., Коновалов С.В., Иванов Ю.Ф. и др. Высокоэнтропийные сплавы. – Новокузнецк : Полиграфист, 2021. – 178 с.

2. George E.P., Curtin W.A., Tagan C.C. High entropy alloys: A focused review of mechanical properties and deformation mechanisms // *Acta Mater.* – 2020. – Vol. 188. – P. 435–474.

3. Laplanche G., Kostka A., Horst O.M., Eggeler G., George E.P. Microstructure evolution and critical stress for twinning in the CrMnFeCoNi high-entropy alloy // *Acta Mater.* – 2016. – Vol. 118. – P. 152–163.

4. Zhou Y.J., Zhang Y., Wang Y.L., Chen G.L. Solid solution alloys of AlCoCrFeNiTi_x with excellent room-temperature mechanical properties // *Appl. Phys. Lett.* – 2007 – Vol. 90. – 181904.

5. Wang X.F., Zhang Y., Qiao Y., Chen G.L. Novel microstructure and properties of multicomponent cocrcufenitix alloys // *Intermetallics.* – 2007. – Vol. 15. – P. 357–362.

6. 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 // *Prog. Mater. Sci.* – 2014. – Vol. 61. – P. 1–93.

7. Wang W.R., Wang W.L., Wang S.C., Tsai Y.C., Lai C.H., Yeh J.W. Effects of Al addition on the microstructure and mechanical property of Al_xCoCrFeNi high-entropy alloys. – *Intermetallics.* – 2012. – Vol. 26. – P. 44–51.

8. Kao Y.F., Lee T.D., Chen S.K., Chang Y.S. Electrochemical passive properties of Al_xCoCrFeNi (x = 0, 0.25, 0.50, 1.00) alloys in sulfuric acids // *Corros. Sci.* – 2010. – Vol. 52. – P. 1026–1034.

9. Ye Q.F., Feng K., Li Z.G., Lu F.G., Li R.F., Huang J., Wu Y.X. Microstructure and corrosion properties of CrMnFeCoNi high entropy alloy coating // *Appl. Surf. Sci.* – 2017. – Vol. 396. – p. 1420–1426.

10. Wu J.M., Lin S.J., Yeh J.W., Chen S.K., Huang Y.S., Chen H.C. Adhesive wear behavior of Al_xCoCrCuFeNi high-entropy alloys as a function of aluminum content // *Wear.* – 2006. – Vol. 261. – P. 513–519.

11. Chuang M.H., Tsai M.H., Wang W.R., Lin S.J., Yeh J.W. Microstructure and wear behavior of Al_xCo₁₋₅CrFeNi₁₋₅Ti_y high-entropy alloys // *Acta Mater.* – 2011. – Vol. 59. – P. 6308–6317.

12. Senkov O.N., Wilks G.B., Scott J.M., Miracle D.B. Mechanical properties of Nb₂₅Mo₂₅Ta₂₅W₂₅ and V₂₀Nb₂₀Mo₂₀Ta₂₀W₂₀ refractory high entropy alloys // *Intermetallics.* – 2011. – Vol. 19. – P. 698–706.

13. Qiao J.W., Ma S.G., Huang E.W., Chuang C.P., Liaw P.K., Zhang Y. Microstructural characteristics and mechanical behaviors of AlCoCrFeNi high-entropy alloys at ambient and cryogenic temperatures. – *Mater. Sci. Forum.* – 2011. – Vol. 688. – P. 419–425.

14. Laktionova M.A., Tabchnikova E.D., Tang Z., Liaw P.K. Mechanical properties of the high-entropy alloy Ag_{0.5}CoCrCuFeNi at temperatures of 4.2–300 K // *Low Temp. Phys.* – 2013. – Vol. 39. – P. 630–632.15.

Williams S.W., Martina F., Addison A.C., Ding J., Pardal G., Colegrove P. Wire + Arc. Additive

Manufacturing // *Mater.Sci. Technol.* – 2016. – Vol. 32. – P. 641–647.

16. Ding D.H., Pan Z.X., Cuiuri D., Li H.J., J. Int. Wire-feed additive manufacturing of metal components: technologies, developments and future interests // *Adv. Manuf. Tech.* – 2015. – Vol. 81. – P. 465–481.

17. Chen X.Z., Su C.C., Wang Y.F., Sidiquee A.N., Sergey K., Jayalakshmi S., Singh R.A., Surf J. Cold Metal Transfer (CMT) Based Wire and Arc Additive Manufacture (WAAM) // *Invest. X-Ray.* – 2018. – Vol. 12. – P. 1278–1284.

Информация об авторах

К. А. Осинцев – аспирант кафедры технологии металлов и авиационного материаловедения Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева; инженер Сибирского государственного индустриального университета.

В. Е. Громов – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой естественнонаучных дисциплин имени профессора В.М. Финкеля Сибирского государственного индустриального университета.

С. В. Коновалов – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии металлов и авиационного материаловедения Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева; научный сотрудник Сибирского государственного индустриального университета.

И. А. Панченко – кандидат технических наук, доцент кафедры «Менеджмент качества и инноваций» Сибирского государственного индустриального университета.

Е. С. Ващук – кандидат технических наук, доцент кафедры естественнонаучных дисциплин Кузбасского государственного технического университета им Т.Ф. Горбачева.

REFERENCES

1. Gromov, V.E., Kononov, S.V., Ivanov, YU.F. & other authors. (2021). *Vysokoentropijnnye splavy*. Novokuzneck : Poligrafist. (In Russ.).

2. George, E.P., Curtin, W.A. & Tagan, C.C. (2020). High entropy alloys: A focused review of mechanical properties and deformation mechanisms. *Acta Mater.* (188), 435–474.

3. Laplanche, G., Kostka, A., Horst, O.M., Eggeler, G. & George, E.P. (2016). Microstructure evolution and critical stress for twinning in the CrMnFeCoNi high-entropy alloy. *Acta Mater.* (118), 152–163.

4. Zhou, Y.J., Zhang, Y., Wang, Y.L. & Chen, G.L. (2007). Solid solution alloys of AlCoCrFeNiTi with excellent room-temperature mechanical properties. *Appl. Phys. Lett.*, (90), 181904.
5. Wang, X.F., Zhang, Y., Qiao, Y. & Chen, G.L. (2007). Novel microstructure and properties of multicomponent cocrucfenitix alloys. *Intermetallics*, (15), 357–362.
6. Zhang, Y., Zuo, T.T., Tang, Z., Gao, M.C., Dahmen, K.A., Liaw, P.K. & Lu, Z.P. (2014). Microstructures and properties of high-entropy alloys. *Prog. Mater. Sci.*, (61), 1–93.
7. Wang, W.R., Wang, W.L., Wang, S.C., Tsai, Y.C., Lai, C.H. & Yeh, J.W. (2012). Effects of Al addition on the microstructure and mechanical property of AlxCoCrFeNi high-entropy alloys. *Intermetallics*, (26), 44–51.
8. Kao, Y.F., Lee, T.D., Chen, S.K. & Chang, Y.S. (2010). Electrochemical passive properties of AlxCoCrFeNi (x = 0, 0.25, 0.50, 1.00) alloys in sulfuric acids. *Corros. Sci.*, (52), 1026–1034.
9. Ye, Q.F., Feng, K., Li, Z.G., Lu, F.G., Li, R.F., Huang, J. & Wu, Y.X. (2017). Microstructure and corrosion properties of CrMnFeCoNi high entropy alloy coating. *Appl. Surf. Sci.*, (396), 1420–1426.
10. Wu, J.M., Lin, S.J., Yeh, J.W., Chen, S.K., Huang, Y.S. & Chen, H.C. (2006). Adhesive wear behavior of AlxCoCrCuFeNi high-entropy alloys as a function of aluminum content. *Wear*, (261), 513–519.
11. Chuang, M.H., Tsai, M.H., Wang, W.R., Lin, S.J. & Yeh, J.W. (2011). Microstructure and wear behavior of AlxCo1.5CrFeNi1.5Ti high-entropy alloys. *Acta Mater.*, (59), 6308–6317.
12. Senkov, O.N., Wilks, G.B., Scott, J.M. & Miracle, D.B. (2011). Mechanical properties of Nb25Mo25Ta25W25 and V20Nb20Mo20Ta20W20 refractory high entropy alloys. *Intermetallics*, (19), 698–706.
13. Qiao, J.W., Ma, S.G., Huan, E.W., Chuang, C.P., Liaw, P.K. & Zhang, Y. (2011). Microstructural characteristics and mechanical behaviors of AlCoCrFeNi high-entropy alloys at ambient and cryogenic temperatures. *Mater. Sci. Forum*, (688), 419–425.
14. Laktionova, M.A., Tabchnikova, E.D., Tang, Z. & Liaw, P.K. (2013). Mechanical properties of the high-entropy alloy Ag0.5CoCrCuFeNi at temperatures of 4.2–300 K. *Low Temp. Phys.*, (39), 630–632.
15. Williams, S.W., Martina, F., Addison, A.C., Ding, J., Pardal, G. & Colegrove, P. (2016). Wire + Arc Additive Manufacturing. *Mater. Sci. Technol.*, (32), 641–647.
16. Ding, D.H., Pan, Z.X., Cuiuri, D., Li, H.J. & J. Int. (2015). Wire-feed additive manufacturing of metal components: technologies, developments and future interests. *Adv. Manuf. Tech.*, (81), 465–481.
17. Chen, X.Z., Su, C.C., Wang, Y.F., Sid-diquee, A.N., Sergey, K., Jayalakshmi, S., Singh, R.A. & Surf, J. (2018). Cold Metal Transfer (CMT) Based Wire and Arc Additive Manufacture (WAAM). *Invest. X-Ray*, (12), 1278–1284.

Information about the authors

K. A. Osintsev – postgraduate student of the Department of Metal Technology and Aviation Materials Science, Samara National Research University; Engineer at the Siberian State Industrial University.

V. E. Gromov – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of the Department of Natural Science Disciplines named after Professor V.M. Finkel of the Siberian State Industrial University.

S. V. Konovalov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Metal Technology and Aviation Materials Science, Samara National Research University; Researcher at the Siberian State Industrial University.

I. A. Panchenko – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Quality and Innovation Management of the Siberian State Industrial University.

E. S. Vashchuk – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Natural Sciences of the Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev.

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

Статья поступила в редакцию 26.01.2021; одобрена после рецензирования 22.02.2021; принята к публикации 01.03.2021.

The article was received by the editorial board on 26 Jan 21; approved after reviewing on 22 Feb 21; accepted for publication on 01 Mar 21.

Научная статья
05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов (технические науки)
УДК 620.19
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.021

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ ПОДВЕСОВ ПРОВОДОВ ЛЭП МЕТОДАМИ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Александр Анатольевич Бердыченко¹, Сергей Геннадьевич Иванов²,
Михаил Алексеевич Гурьев³

^{1,2,3} Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

¹ berd50@mail.ru

² serg225582@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5965-0249>

³ gurievma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9191-1787df>

Аннотация. В работе проведены результаты исследований причин разрушения подвесов линий электропередач методами структурно-фазового металлографического анализа. В результате исследований установлено, что причиной разрушения скоб крепления линии ЛЭП в большинстве случаев является непараллельность осей резьбовых частей скобы крепления. Это не позволяет надёжно закрепить крепление на траверсе, что приводит к ослаблению резьбового соединения и возникновению дополнительных изгибающих циклических напряжений, вызывающих усталостное разрушение.

Ключевые слова: разрушение, усталость, металлографический анализ.

Для цитирования: Бердыченко А.А., Иванов С.Г., Гурьев М.А. Исследование причин разрушения подвесов проводов ЛЭП методами структурно-фазового металлографического анализа // Ползуновский вестник. 2021. № 1. С. 147–153. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.021.

Original article

RESEARCH INTO THE CAUSES OF SUSPENSION WIRES DESTRUCTION OF POWER TRANSMISSION LINES BY METHODS OF STRUCTURAL-PHASE METALLOGRAPHIC ANALYSIS

Alexander A. Berdychenko¹, Sergey G. Ivanov², Mikhail A. Guryev³

^{1,2,3} Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

¹ berd50@mail.ru

² serg225582@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5965-0249>

³ gurievma@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9191-1787df>

Abstract. The results of researches on the causes of suspension wires destruction of power transmission lines by methods of structural-phase metallographic analysis are described in this paper.

It was found out that the cause of the destruction of the power line fastening brackets is not the parallelism of the axes of the threaded parts of the fastening bracket in most cases. This particularity does not allow the fastening to be securely fastened to the traverse, as a result, it leads to a weaken-

ing of the threaded connection and the occurrence of additional bending cyclic stresses, which cause fatigue failure.

Keywords: fracture, fatigue, metallographic analysis.

For citation: Berdychenko, A.A., Ivanov, S.G. & Guryev, M.A. (2021). Research into the causes of suspension wires destruction of power transmission lines by methods of structural-phase metallographic analysis. *Polzunovskiy vestnik*, 1,147-153. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.021

Ежегодно в Российской Федерации происходят сотни аварий высоковольтных линий электропередач (ЛЭП), в результате которых без электроснабжения остается большое количество потребителей как предприятий, так и домохозяйств. Это приносит ощутимый экономический ущерб, в среднем около 0,3–0,5 % ВВП в результате недополучения прибыли из-за простоя обесточенных предприятий, различных потерь и затрат на ликвидацию последствий аварий. Наиболее частой причиной аварий линий ЛЭП является обрыв проводов. При этом физическое разрушение

(обрыв) самих проводов – менее распространенное явление по сравнению с разрушением подвесов этих проводов, что и является причиной обрыва проводов.

Характерным разрушением узлов крепления подвесов проводов ЛЭП является разрушение U образной скобы (рисунок 1), которые в соответствии с ТУ 3449 108-00111120-94 и ТУ 34 13.10310-90 изготавливаются из стального прута диаметром 24 мм, с резьбой на концах, двух упорных шайб с резьбой (поз. 2 и 4 на рисунке 1), двух шайб (поз. 1 и 3 на рисунке 1) и двух гаек.



Рисунок 1 – Узел крепления КГП-16-1 (а); элементы резьбового соединения (б), где 1, 3 – шайбы, 2, 4 – шайба упорная; гайки (в)

Figure 1 – Mounting unit KGP-16-1 (a); elements of the threaded connection (b), where 1, 3 – washers, 2, 4 – thrust washer; and nuts (in)

В результате визуального осмотра установлено, что форма скобы узла крепления имеет отклонения от чертежа узла крепле-

ния, приведённого в технических условиях. Согласно техническим условиям, оси резьбовых частей скобы должны быть параллельны

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ ПОДВЕСОВ ПРОВОДОВ ЛЭП МЕТОДАМИ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

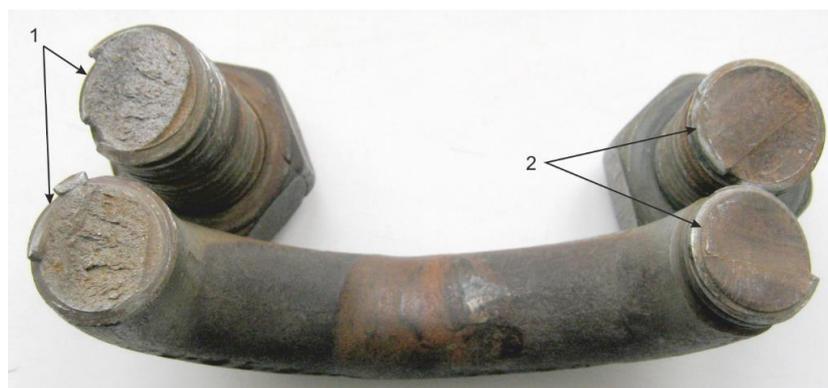
друг другу, в то время как у скобы, представленной на исследование, угол между ними составляет 30° (рисунок 1, а).

Торцы резьбы скобы имеют ярко выраженные вмятины, деформирующие первые витки резьбы. Упорная шайба поз. 2 (рисунок 1) полностью покрыта цветами побежалости тёмно-коричневого цвета. На упорной шайбе поз. 4 (рисунок 1) так же имеется пятно цветов побежалости коричневого цвета, но меньших размеров.

Нижняя часть скобы имеет значительную выработку глубиной порядка 1 мм, расположенную несимметрично относительно оси центра масс скобы. В области выработки на поверхности узла имеется пятно цветов побежалости тёмно-коричневого цвета (рисунок 1). Температура образования пятна с цветами побежалости такого цвета соответствует примерно 265°C [1, 2].

Разрушение скобы произошло в области второго-третьего витков конца резьбы. Резьбовая часть узла имеет повреждения как профиля резьбы, так и общую деформацию в виде искривления оси (рисунок 1, а).

Поверхности разрушения (изломы) имеют разный характер и разную степень окисленности (рисунок 2). Излом поз. 1 (рисунок 2) имеет менее окисленную, чем излом поз. 2 (рисунок 2), поверхность, что свидетельствует о более позднем его возникновении). Кроме того, излом поз. 2 характерен для усталостного разрушения при двустороннем изгибе со слабым локальным концентратором при низком механическом номинальном напряжении, а излом поз. 1 – усталостному разрушению при растяжении и одностороннем изгибе с концентратором напряжения по окружности при высоком номинальном механическом напряжении [3].



а)



б)



в)

Рисунок 2 – Поверхности изломов узла, где а) – общий вид, б) – поверхность излома по поз. 1 на рисунке а), в) – поверхность излома по поз. 2 на рисунке а)

Figure 2 – Knot fracture surfaces, where а) is a) general view, б) is a fracture surface according to pos. 1 in figure а), в) – fracture surface according to pos. 2 in figure а)

Профиль резьбы (рисунок 2, в) имеет повреждения в виде смятия вершин витков со стороны зарождения усталостной трещины, покрытые толстым слоем окислов тёмно-коричневого цвета (рисунок 3). На вершинах витков резьбы наблюдаются риски, расположенные на одной линии.



Рисунок 3 – Фрагмент узла, представленного на рисунке 2, б с деформированной резьбой, где 1 – линия плоскости шлифа, представленного на рисунке 4

Figure 3 – Fragment of the assembly shown in Figure 2, b with a deformed thread, where 1 is the line of the plane of the thin section shown in figure 4

Шайба резьбового соединения поз. 2 (рисунок 2, а, поз. 3, рисунок 1, б) имеет значительную вмятину от гайки на 1/3 площади соприкосновения гайки и шайбы, глубина которой достигает 0,8–1,0 мм. Причиной образования вмятины может быть неполное прилегание гайки к поверхности шайбы, возникшее из-за непараллельности осей резьбы скобы (см. рисунок 1, а). Резьба на упорных гайках (поз. 2 и 4, рисунок 1, б) деформирована.

Химический состав материала скобы подвеса определяли на эмиссионном спектрометре SOLARIS CCD Plus.

Результаты исследования химического состава стали (таблица 1) показали, что она изготовлена из стали 40ХА по ГОСТ 4543 2016 «Металлопродукция из конструкционной легированной стали».

Таблица 1 – Результаты исследования химического состава стали скобы

Table 1 – The results of the study of the chemical composition of the steel staples

Элемент	Сталь скобы	Сталь 40Х*
	Содержание элементов, %	
1	2	3
C	0,381±0,021	0,36–0,44
Si	0,256±0,005	0,17–0,37
Mn	0,700±0,005	0,50–0,80

Продолжение таблицы 1/ Continuation of table 1

1	2	3
P	0,008±0,001	< 0,035
S	0,017±0,001	< 0,035
Cr	0,994±0,006	0,80–1,10
Ni	0,091±0,001	< 0,30
Cu	0,008±0,013	< 0,30
Mo	0,003±0,001	< 0,11

Твёрдость материала скобы подвеса определяли на приборе Виккерса. Измеренная твёрдость составила $HV_{10} = 258 \pm 23$. На основании данных сравнительной таблицы твёрдости, приведённой в DIN 50150, сталь с такой твёрдостью должна иметь предел прочности $\sigma_b = 820 \pm 80$ МПа, что, согласно ГОСТ 4543-71, хорошо совпадает с пределом прочности для стали 40Х, прошедшей закалку и высокий отпуск: $\sigma_b = 860$ МПа. Полученные данные позволяют оценить разрушающую нагрузку для исследуемой скобы. Исходя из условий прочности

$$\sigma_{max} \leq [\sigma] = \frac{\sigma_T}{k}; \quad \sigma_{max} = \frac{2P_{max}}{\pi D^2};$$

$$P_{max} = \frac{\sigma_T \pi D^2}{2k};$$

где σ_{max} и P_{max} – максимальные напряжение и разрушающая нагрузка, D – диаметр, σ_T – предел текучести металла, k – коэффициент запаса прочности (для углеродистых сталей $k = 2,5–4,0$). Предел текучести для стали 40Х с $\sigma_b = 860$ МПа согласно ГОСТ 4543 71 должен составлять 720 МПа. Тогда даже при $k = 4,0$ разрушающая нагрузка $P_{max} = 163$ КПа, в то время как разрушающая нагрузка для крепления КГП 16 1 согласно ТУ 3449 108 00111120-94 и ТУ 34 13.10310-90 составляет 160 КПа. Таким образом, прочность стали, из которой изготовлена скоба исследуемого крепления, соответствует требованиям технических условий ТУ 3449 108 00111120-94 и ТУ 34 13.10310-90.

Структурные исследования материала скобы

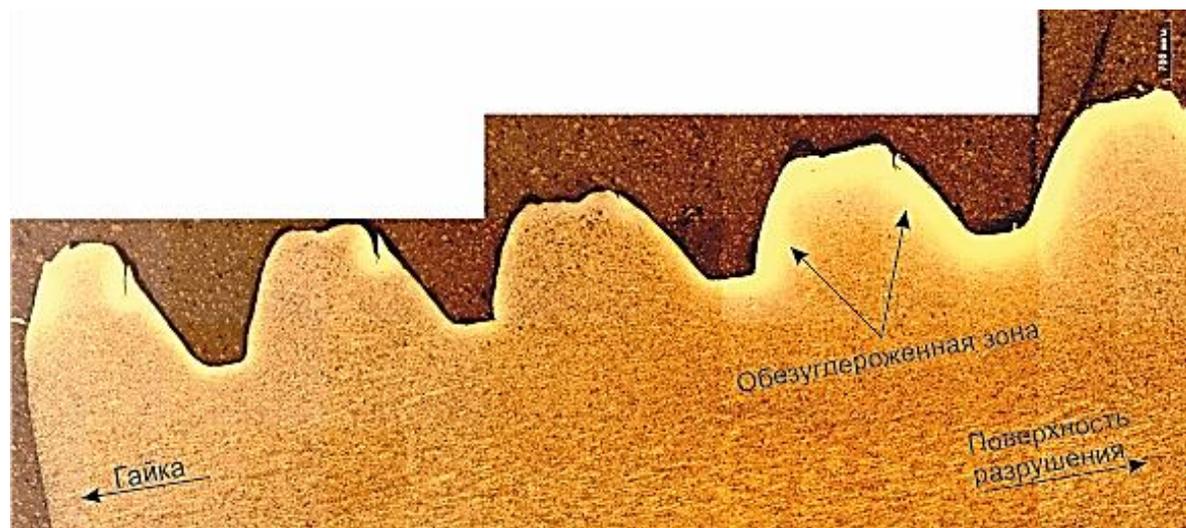
В результате исследования макроструктуры профиля резьбы в области, прилегающей к поверхности разрушения, представленной на рисунке 2, б, на наклонной поверхности профиля резьбы обнаружены трещины глубиной 0,3–0,5 мм, ориентированные параллельно поверхности разрушения (рисунок 4, а). Витки резьбы несколько деформированы (наклонены) в сторону гайки. Поверх-

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ ПОДВЕСОВ ПРОВОДОВ ЛЭП МЕТОДАМИ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

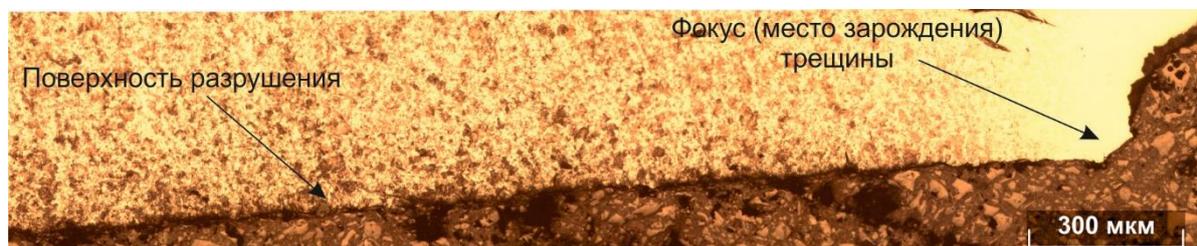
ность профиля резьбы имеет меньшую травимость.

Сердцевина скобы имеет ферритно-перлитную структуру с некоторой полосчатостью. Микротвердость сердцевины скобы 275–300 кгс/мм². Поверхностная зона резьбы с пониженной травимостью имеет толщину 300–350 мкм. Микротвердость в ней снижается в направлении поверхности от 275–300 до

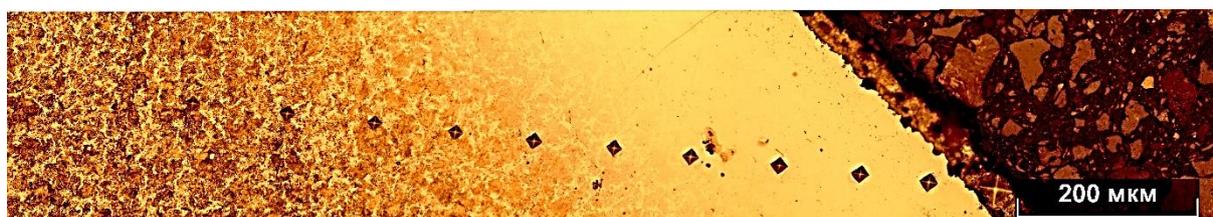
190 кгс/мм², что свидетельствует об обезуглероживании металла в этой области, причиной которого является нагрев поверхности до температуры порядка 265 °С (см. п. 1, 3). Металл, прилегающий к поверхности излома, представленной на рисунках 2, в и 3 не имеет следов пластического течения (рисунок 4, б). Поверхность резьбы покрыта слоем окисла толщиной порядка 20 мкм.



а)



б)



в)

Рисунок 4 – Макроструктура профиля резьбы в плоскости, указанной «1» на рисунке 3 (а), микроструктура фокуса трещины и поверхности излома (б), микроструктура поверхностных слоёв профиля резьбы с обезуглероживанным слоем (в)

Figure 4 – Macrostructure of the thread profile in the plane indicated by «1» in Figure 3 (a), microstructure of the crack focus and fracture surface (б), microstructure of surface layers of a thread profile with a decarburized layer (в)

Микроструктура прилегающего к поверхности разрушения металла (поз. 1, рисунок 2, а, б) характерна для усталостного разрушения при растяжении и одностороннем из-

гибе с концентратором напряжения по окружности при высоком номинальном напряжении (рисунок 5). Металл в этой зоне не претерпел пластической деформации, что свидетельству-

ет о скачкообразном развитии трещины, характерном для усталостного разрушения резьбового соединения [4–8]. Микротвердость сердцевины металла 275–300 кгс/мм², а в обезугле-

роженной зоне снижается в направлении от сердцевины к поверхности от 275–300 до 190 кгс/мм².

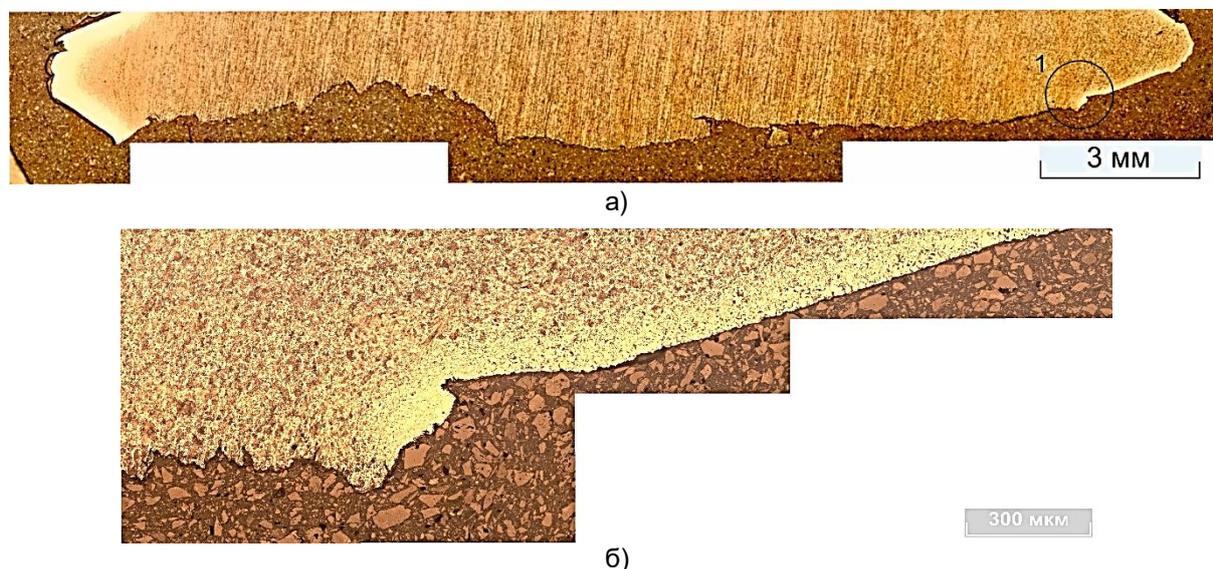


Рисунок 5 – Макроструктура металла вблизи поверхности разрушения, представленной на рисунках 2, а, б (а) и микроструктура области «1» на рисунке 5, а (б)

Figure 5 – Macrostructure of the metal near the fracture surface shown on Figures 2, a, b, (a) and the microstructure of the region «1» in Figures 5, a (b)

Анализ полученных результатов

Разрушение скобы крепления происходило в два этапа:

1. На первом этапе разрушение произошло по поверхности, показанной на рисунках 2, а (поз. 2) и 2, в, доказательством чему является большая степень окисленности этой поверхности. Характер поверхности разрушения свидетельствует о том, что скоба длительное время подвергалась циклическим изгибающим нагрузкам с низким напряжением. Инициатором возникновения трещины при таких условиях мог стать любой элемент резьбы, являющийся, по сути, слабым концентратором напряжений. Нештатным в этих условиях явилось возникновение циклических изгибающих напряжений. Причиной их возникновения могло стать несоответствие формы скобы требованиям технических условий, а именно не параллельность осей резьбы скобы. Такое явление не дало возможности надёжно закрепить крепление к траверсе, что подтверждается неравномерной выработкой на шайбе. Это создало условия для возникновения некоторого статического изгибающего момента, ослабления резьбового соединения и привело к возникновению циклических

изгибающих нагрузок, приводящих к усталостному разрушению.

2. На втором этапе произошло разрушение скобы крепления по поверхности, показанной на рисунках 2, а (поз. 1) и 2, б. Характер поверхности разрушения свидетельствует о том, что скоба разрушилась от одновременно действующих растягивающих и циклических односторонних изгибающих нагрузках с высоким номинальным напряжением. Концентратором напряжения явилась впадина профиля резьбы. После разрушения первой ветви скобы вся нагрузка крепления передается на оставшуюся ветвь (площадь сечения металла, сопротивляющегося действующим нагрузкам, уменьшилась вдвое). Кроме того, из-за возникшей несимметричности приложения нагрузки к креплению, возник односторонний значительный изгибающий момент, величина которого циклически изменялась в связи с действием ветровой нагрузки. Такие условия привели к сравнительно быстрому окончательному разрушению крепления.

Таким образом, причиной разрушения скобы крепления линии ЛЭП явилась непараллельность осей резьбовых частей скобы крепления. Такое явление не позволило надёжно закрепить крепление на траверсе, что привело со временем к ослаблению

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ ПОДВЕСОВ ПРОВОДОВ ЛЭП МЕТОДАМИ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

резьбового соединения и возникновению дополнительных изгибающих циклических напряжений, вызвавших усталостное разрушение. Причиной деформации скобы вряд ли мог стать производственный дефект. Вероятнее всего деформация возникла при нарушении технологии монтажа подвеса, а именно применение скобы, не соответствующей размерам траверсы, к которой она крепится.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Седов Ю.Е., Адашкин А.М. Справочник молодого термиста. М.: Высшая школа, 1986. 239 с.
2. Официальная страница ярославского мастера Ильи Куликова: сайт. Ярославль. URL: <http://www.bestbulat.ru/art26.html> (дата обращения: 08.02.2021). Текст электронный.
3. Гордеева Т.А., Зайцев А.М., Фридман Я.Б. Строение и анализ изломов металлов. М.: «Машгиз», 1960. 128 с.
4. Дроздов М.А. Усталостное разрушение болтов, шпилек и гаек. Предел выносливости крепежа. Текст: электронный // Сайт Метизно-фланцевого завода. URL: http://www.12821-80.ru/tech/121-Ustalost_boltov_gaek_shpilek. (дата обращения: 08.02.2021).
5. Про крепеж: сайт. URL: <http://pro-krepezh.ru/oslablenie-boltov-rezbovyihkrepezhnyihdetaleyotvibratsii/>. Текст: электронный (дата обращения: 08.02.2021).
6. Усталостное разрушение высокопрочных болтов в строительных стальных конструкциях / Л.И. Гладштейн, Н.И. Кельберин, В.И. Мейтин, Р.А. Милюевский // Промышленное и гражданское строительство, 2007. № 12. С. 24–27.
7. Романов А.Н. Закономерности усталостного разрушения металлических материалов // Металловедение и термическая обработка металлов, 2006. № 9. С. 19–27.
8. Шанявский А.А. Модели зарождения и развития усталостного разрушения под поверхностью металлов // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2012. № 179. С. 32–44.

Информация об авторах

А. А. Бердыченко – кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Современные специальные материалы» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

С. Г. Иванов – доктор технических наук, заведующий лабораторией Центра коллективного пользования лабораторно-исследо-

вательским оборудованием Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

М. А. Гурьев – кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиностроительные технологии и оборудование» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

REFERENCES

1. Sedov, Yu.E. & Adaskin, A.M. (1986). *Handbook of a young thermist*. Moscow: Higher school. (In Russ.).
2. Oficial'naya stranica yarovskogo мастера Ili' Kulikova. (2020). Retrieved from <http://www.bestbulat.ru/art26.html>. (In Russ.).
3. Gordeeva, T.A., Zaitsev, A.M., Fridman, Ya.B. (1960). *Structure and analysis of metal fractures*. Moscow: «Mashgiz». (In Russ.).
4. Drozdov, M.A. (2011). *Ustalostnoe razrushenie boltov, shpilek i gaek. Predel vynoslivosti krepezh*. Retrieved from http://www.12821-80.ru/tech/121-Ustalost_boltov_gaek_shpilek. (In Russ.).
5. *Pro krepezh* (2021). Retrieved from <http://pro-krepezh.ru/oslablenie-boltov-rezbovyih-krepezhnyih-detaley-ot-vibratsii>. (In Russ.).
6. Gladstein, L.I., Kel'berin, N.I., Meitin, V.I. & Milievsky, R.A. (2007). Fatigue destruction of high-strength bolts in building steel structures. *Industrial and civil construction*, (12), 24–27. (In Russ.).
7. Romanov A.N.(2006). Laws of fatigue fracture of metallic materials. *Metallurgy and heat treatment of metals*, (9), 19–27. (In Russ.).
8. Shanyavsky, A.A. (2012). Models of initiation and development of fatigue fracture under the surface of metals. *Scientific Vestnik of the Moscow State Technical University of Civil Aviation*, (179), 32–44. (In Russ.).

Information about the authors

A. A. Berdychenko – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Modern Special Materials, Polzunov Altai State Technical University.

S. G. Ivanov – Doctor of Technical Sciences, Head of the Laboratory of the Center for Shared Use of Laboratory and Research Equipment, Polzunov Altai State Technical University.

M. A. Guryev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering Technologies and Equipment, 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 05.02.2021; одобрена после рецензирования 26.02.2021; принята к публикации 01.03.2021.

The article was received by the editorial board on 05 Feb 21; approved after reviewing on 26 Feb 21; accepted for publication on 01 Mar 21.

Научная статья
05.16.09 – Материаловедение (по отраслям) (технические науки)
УДК 630.8
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.022

ПОЛУЧЕНИЕ ДЕКОРАТИВНЫХ ПЛИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОПИЛОК СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

Наталья Владимировна Коренева¹, Вадим Владимирович Коньшин²,
Антон Николаевич Афаньков³, Вадим Алексеевич Крахмалев⁴,
Александр Анатольевич Беушев⁵

1, 2, 3, 4, 5 Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

¹ vadandral@mail.ru

² vadandral@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9335-1824>

³ vadandral@mail.ru

⁴ k1232@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2157-835x>

⁵ baa7@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0233-3805>

Аннотация. В работе проведено исследование возможности использования отходов деревообработки, опилок сосны обыкновенной, *Pinus Silvestris*, для получения декоративных плитных материалов. В ходе работы проведена обработка опилок сосны водяным паром по методу взрывного автогидролиза. Результаты химического анализа свидетельствуют о появлении редуцирующих веществ, способных вступать в химическое взаимодействие с ароматическими структурами растительного сырья. Полученные плитные материалы по основным технологическим показателям не уступают плитным материалам на основе ДСП и ДВП. Установлено, что автогидролизованые опилки сосны могут быть использованы для изготовления декоративных материалов.

Ключевые слова: декоративные плитные материалы, взрывной автогидролиз, редуцирующие вещества, гидрофобность, предел прочности, «кедропласт».

Для цитирования: Получение декоративных плитных материалов на основе опилок сосны обыкновенной / Н.В. Коренева, В.В. Коньшин, А.Н. Афаньков, В. А. Крахмалев, А. А. Беушев // Ползуновский вестник. 2021. № 1. С. 154–160. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.022.

Original article

OBTAINING DECORATIVE PANEL MATERIALS BASED ON COMMON PINE SAWDUST

Natalya V. Koreneva¹, Vadim V. Konshin², Anton N. Afankov³,
Vadim A. Krakhmalev⁴, Alexander A. Beushev⁵

1, 2, 3, 4, 5 Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

¹ vadandral@mail.ru

² vadandral@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9335-1824>

³ vadandral@mail.ru

⁴ k1232@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2157-835x>

⁵ baa7@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0233-3805>

© Коренева Н.В., Коньшин В.В., Афаньков А.Н., Крахмалев В.А., Беушев А.А., 2021

ПОЛУЧЕНИЕ ДЕКОРАТИВНЫХ ПЛИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОПИЛОК СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

Abstract. *The paper investigates the possibility of using woodworking waste, Common pine sawdust, Pinus Sylvestris, to obtain decorative panel materials. In the course of the work, pine sawdust was treated with water vapor using the explosive autohydrolysis method. The results of chemical analysis indicate the appearance of reducing substances capable of entering into chemical interaction with the aromatic structures of plant raw materials. The obtained panel materials are not inferior to panel materials based on chipboard and fiberboard in terms of the main technological indicator. It has been established that autohydrolyzed pine sawdust can be used for the manufacture of decorative materials.*

Keywords: *decorative board materials, explosive autohydrolysis, reducing substances, hydrophobicity, tensile strength, "Cedroplast".*

For citation: Koreneva, N.V., Konshin, V.V., Afankov, A.N., Krakhmalev, V.A. & Beushev, A.A. (2021). Obtaining decorative panel materials based on common pine sawdust. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 154-160. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.022

Деятельность деревообрабатывающей промышленности сопровождается образованием большого количества отходов. Помимо веток и зеленой массы в утиль отправляются кряжи и пни, кора, горбыль, кусковые отходы, щепы, стружка и опилки. Избавляться от отходов можно с помощью сжигания, однако рациональнее использовать их в деле.

В настоящее время разработано и с успехом внедрено несколько способов получения композиционных материалов различного назначения из древесных отходов, в т. ч. облицовочных плиток, сувенирной продукции, художественных панно [1, 2].

Широкое внедрение данных технологий сдерживается тем обстоятельством, что подобные материалы обладают невысокими физико-механическими характеристиками, а при большом влагосодержании подвержены гниению. Использование защитных покрытий сопряжено с большими затратами, увеличивающими стоимость готовой продукции и не всегда способствует достижению требуемого результата [3].

Одним из вариантов получения гидрофобных и устойчивых декоративных материалов является предварительная гидротермическая обработка отходов деревообработки методом взрывного автогидролиза [4–8]. Отличительной особенностью данного процесса является протекание различных полимеризационных и деполимеризационных процессов, приводящих к образованию так называемых фенолоспиритов, являющихся аналогом синтетических терморезистивных смол на основе фенола и/или формальдегида. По сути, в ходе взрывного автогидролиза в растительном комплексе происходят реакции, в результате которых образуется связующее и растительное сырьё при определённых условиях способное само себя склеивать.

Целью данной работы являлось изучение возможности использования опилок сосны обыкновенной для получения декоративных плитных материалов.

В качестве исходного сырья использовались отходы деревообработки, опилки древесины сосны обыкновенной, Pinus Sylvestris фракцией 0,3–0,75 мм. Опилки загружались в реактор периодического действия, выдерживались в течение 10 минут под давлением водяного пара от 1,8 до 2,6 МПа с последующим сбросом до атмосферного [9–11]. Поступившая в приемник обработанная масса высушивалась до воздушно-сухого состояния и использовалась в дальнейшем для изучения состава и изготовления декоративных плитных материалов.

Основной компонентный состав исходных опилок и полученной древесной массы проводили по методикам, изложенным в работе [12].

Плитные материалы получены методом горячего давления. Время выдерживания при прессовании устанавливалось из расчета 1 минута на 1 мм толщины плиты. Давление прессования 5,2 МПа, температура прессования 140 °С. Для исследования были изготовлены стандартные плитные материалы размером 5 x 50 x 150 мм.

Данные по составу исходного материала и обработанных по методу взрывного автогидролиза опилок сосны представлены в таблице 1.

Обработанные по методу взрывного автогидролиза опилки сосны обыкновенной представляют собой волокнистую массу коричневого цвета. Приведенные в таблице 1 результаты химического анализа и определения основных компонентов опилок сосны свидетельствуют о том, что при баротермической обработке происходит увеличение содержания лигнина и целлюлозы и умень-

шение содержания легкогидролизуемых полисахаридов. Данный факт в литературе объясняется образованием «псевдолигнина» и частичным разрушением лигноуглеводного комплекса растительной матрицы [13–14].

Количество образующихся редуцирующих веществ уменьшается при увеличении давления с 12,1 % при давлении пара 1,8 МПа до 5,2 % при давлении пара 2,6 МПа. Такое резкое снижение активных компонентов (именно редуцирующие вещества вступают в реакцию с ароматическими составляющими лигнина с образованием «лигноспиртов») обусловлено образованием легколетучего продукта – фурфурола. Фурфурол улетучивается в процессе обработки опилок перегретым паром, что в конечном итоге сказывается на уменьшении концентрации активных карбонильных групп и в целом редуцирующих веществ.

Исходя из необходимости разволокнения и частичной деструкции растительного сырья, а также необходимости содержания значительного количества редуцирующих веществ, оптимальным давлением водяного пара является $P = 2,2$ МПа.

Первоначально нами была рассмотрена возможность получения плитных материалов без использования добавок и наполнителей. Результаты определения прочностных и физико-химических показателей приведены в таблице 2.

Анализируя данные таблицы 2, можно утверждать, что полученные с применением метода взрывного автогидролиза плитные материалы по показателям не уступают традиционным плитным материалам типа ДСП и ДВП.

Обращает внимание факт увеличения плотности изделий и снижение водопоглощения и разбухания при увеличении давления водяного пара с 1,8 до 2,6 МПа. Увеличение плотности обусловлено разволокнением и деструкцией растительного материала, который при прессовании более плотно укладывается, максимально заполняя пустоты и поры. Исчезновение пор затрудняет проникновение влаги, увеличивая в конечном итоге гидрофобность изделия. При этом закономерно возрастают прочностные характеристики. Предел прочности плитных материалов, полученных при использовании давления 2,2 МПа и выше, практически не изменяется.

Таблица 1 – Содержание основных компонентов древесины сосны *Pinus Silvestris* в исходном образце и продуктах взрывного автогидролиза

Table 1 – Content of the main components of *Pinus Silvestris* pine wood in the original sample and products of explosive autohydrolysis

Показатели	Исходный образец	Давление водяного пара в реакторе, МПа				
		1,8	2,0	2,2	2,4	2,6
Лигнин, содержание, %	27,1	27,6	28,4	29,1	32,6	33,0
Целлюлоза, содержание, %	50,1	50,5	51,3	52,0	53,8	54,5
Легкогидролизуемые полисахариды, содержание, %	12,7	5,0	3,8	3,8	2,9	2,9
Редуцирующие вещества, содержание, %	–	12,1	11,0	10,7	5,2	5,2
Влажность, содержание, %	9,5	5,4	5,5	4,5	5,5	4,5

Таблица 2 – Результаты испытаний плитных материалов, полученных из модифицированной по методу взрывного автогидролиза опилок древесины сосны *Pinus Silvestris*

Table 2 – Test results of panel materials obtained from *Pinus Silvestris* pine sawdust modified by the method of explosive autohydrolysis

Условия взрывного автогидролиза, давление/время, МПа/мин	Технические показатели				
	Плотность, г/см ³	Водопоглощение, %	Разбухание, %	Предел прочности при изгибе, МПа	Удлинение _{max} при изгибе, мм
1,8/10	1,11	27,9	17,1	18	6,38
2,0/10	1,13	28,3	13,2	21	5,29
2,2/10	1,15	23,8	9,5	24	5,35
2,4/10	1,18	19,9	8,1	24	5,93
2,6/10	1,19	13,7	7,9	25	3,24

ПОЛУЧЕНИЕ ДЕКОРАТИВНЫХ ПЛИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОПИЛОК СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

Применять активированную древесину сосны можно не только в чистом виде, но и в совокупности с отходами переработки других материалов. В настоящее время широко развито производство по изготовлению декоративно-отделочных материалов из скорлупы и других остатков шишек сосны сибирской. Остро стоит вопрос утилизации отходов, образующихся в процессе обработки основного материала. В связи с чем было решено добавить эти отходы в количестве 50 % к обработанному по методу взрывного автогидролиза опилкам сосны и проанализировать свойства

и показатели полученных плитных материалов [15].

В качестве объекта сравнения был изготовлен плитный материал «кедропласт» по технологии, приведенной в работе [16].

На рисунке 1 приведены образцы плитных декоративных материалов, где в качестве связующего были использованы опилки сосны обыкновенной, обработанной по методу взрывного автогидролиза.

Результаты исследований представлены в таблице 3.



Рисунок 1 – Образцы плитных декоративных материалов (связующее – опилки сосны обыкновенной, обработанные по методу взрывного автогидролиза)

Figure 1 – Samples of decorative slab materials (binder – common pine sawdust, processed by the explosive auto hydrolysis method)

Таблица 3 – Основные характеристики плитных материалов, полученных с использованием отходов производства шишек сосны сибирской

Table 3 – The main characteristics of board materials obtained using waste from the production of Siberian pine cones

Образцы	Технические показатели				
	Плотность, г/см ³	Водопоглощение, %	Разбухание, %	Предел прочности при изгибе, МПа	Удлинение _{max} при изгибе, мм
кедропласт	1,12	не прошли испытания	не прошли испытания	15	8,06
опилки сосны + кедропласт	1,18	24,1	12,8	15	8,06

Из таблицы 3 видно, что при одинаковых прочностных показателях (предел прочности для обоих образцов составляет 15 МПа при удлинении при изгибе не более 8,06 мм), добавление опилок сосны обыкновенной значительно улучшает такие свойства как водопоглощение и разбухание. При этом прочностные характеристики не изменяются.

Введение опилок сосны обыкновенной, обработанных по методу взрывного автогидролиза в количестве 50 % от массы изделия является оптимальной. При содержании менее 50 % декоративные плитные материалы, как и «кедропласт» не выдерживали испытания на водопоглощение и разбухание. Добавление большего количества опилок сосны экономически нецелесообразно.

Добавление автогидролизированных опилок сосны позволяет повысить гидрофобные свойства получаемых изделий. Материалы, набухая в течение 24 часов в воде, способны выдерживать форму, не распадаются в отличие от «кедропласта». Данное обстоятельство делает принципиально возможным эксплуатацию декоративных плитных материалов в помещениях с повышенной влажностью.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать вывод о возможности использования отходов деревообработки, опилок сосны обыкновенной, обработанных по методу взрывного автогидролиза. При этом получаемый после баротермической обработки материал может как непосредственно использоваться для изготовления плитных декоративных изделий без добавления различных наполнителей и связующих, так и служить полезной добавкой при изготовлении изделий типа «кедропласт».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат 2235023. Российская Федерация, МПК В44С 1/24 (2000.01) способ получения декоративных изделий из отходов шишек хвойных деревьев [Текст] / Жарков А.С. (RU); Потапов М.Г. (RU); Пьянков С.А. (RU); Кожарский С.П. (RU); Шалюта В.Н. (RU); Ганжа В.В. (RU); заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество «Бийскфизтех» (RU). – № 2002129654/12 приор. 04.11.2002, опубл. 27.08.2004. – Бюл. № 24.

2. Пат 2229389. Российская Федерация, МПК В44С 1/24 (2000.01) Способ получения декоративных изделий из отходов шишек хвойных деревьев [Текст] / Новиков В.Т. (RU); Королев А.А. (RU); заявитель и патентообладатель Томский политехни-

ческий университет (RU). – № 2002126025/12 приор. 30.09.2002, опубл. 27.05.2004. – Бюл. № 15.

3. Древесина. Обработка и декоративная отделка / Прието Дж., Кине Ю. – М. : Пэйнт-медиа. – 2008. – 392 с.

4. Negro M.J., Manzanares P., Oliva J.M., Ballesteros I., Ballesteros M. Changes in various physical/chemical parameters of Pinus Pinaster wood after steam explosion pretreatment // Biomass and Bioenergy. – 2003. – Vol. 25. – P. 301–308. DOI:10.1016/S0961-9534(03)00017-5.

5. Asada C., Sasaki C., Uto Y., Sakafuji J., Nakamura Y. Effect of steam explosion pretreatment with ultra-high temperature and pressure on effective utilization of softwood biomass // Biochemical Engineering Journal. – 2012. – Vol. 60. – P. 25–29. DOI:10.1016/j.bej.2011.09.013.

6. Fengel D., Wegener G. Wood : chemistry, ultrastructure, reactions, Berlin, 1989. – 613 p.

7. Скурыдин Ю.Г. Структура и свойства композиционных материалов, полученных из отходов древесины после взрывного гидролиза: дис. ... канд. техн. наук / Ю.Г. Скурыдин. – Барнаул, 2000. – 135 с.

8. Startsev O.V., Salin B.N., Skuridin Yu.G., Utemesov R.M., Nasonov A.D. Physical Properties and Molecular Mobility of New Wood Composite Plastic «Thermobalite» // Wood Science and Technology. – 1999. – V. 33, Issue 1. – P. 73–83. DOI: https://doi.org/10.1007/s002260050100.

9. Беушев А.А., Скурыдин Ю.Г., Скурыдина Е.М., Беушева О.С., Афаньков А.Н., Ногба Ю.Ж., Коньшин В.В. Химическая модификация оболочек овса посевного, Avena Sativa, методом взрывного автогидролиза // Ползуновский вестник. – 2016. – № 2. – С. 177–180.

10. Ефанов М.В., Коньшин В.В., Синицын А.А. Получение композиционных материалов из торфа и древесины методом взрывного автогидролиза // Журнал прикладной химии. – 2019. – Т. 92. – Вып. 1. – С. 49–53. DOI: 10.1134/S0044461819010067.

11. Скурыдин Ю.Г., Скурыдина Е.М., Коньшин В.В., Юку Ногба Жан, Беушева О.С., Афаньков А.Н., Беушев А.А. Влияние условий баротермической обработки и горячего прессования на физико-механические характеристики термодревесины // Ползуновский вестник. – 2019. – № 1. – С. 142–147. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2019.01.026.

12. Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонovich А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. – М. : Экология, 1991. – 320 с.

13. Гравитис Я.А. Теоретические и прикладные аспекты метода взрывного автогидролиза растительной биомассы // Химия древесины. – 1987. – № 5. – С. 321.

14. Беушева, О.С. Ресурсосберегающая технология переработки отходов древесины лиственницы: дис. ... канд. техн. наук / О.С. Беушева. – Барнаул, 2006. – 129 с.

15. Пат 2723780. Российская Федерация, МПК В44 С5/04 (2017.01), В44 С1/24 (2017.01). Способ получения изделий с модифицированными

ПОЛУЧЕНИЕ ДЕКОРАТИВНЫХ ПЛИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОПИЛОК СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

оболочками овса [Текст] / Крахмалев В.А. (RU); Коньшин В.В. (RU); Афаньков А.Н. (RU); заявитель и патентообладатель ООО «Перспектива Алтай» (RU). – № 2018113945 приор. 16.04.2018, опубл. 17.06.2020. – Бюл. № 17.

16. Пат. 2350477. Российская Федерация, МПК В44С 1/24 (2006.01), В44С 5/04 (2006.01). Способ получения изделий из отходов шишек хвойных деревьев и композиция из этих отходов для получения изделий [Текст] / Богатищев Р.М. (RU); Ганжа В.В. (RU); Никитченко М.Н. (RU); заявитель и патентообладатель ООО «Производственный комбинат «Экология» (RU). – № 2006118144/12 приор. 26.05.2006, опубл. 27.12.2007. – Бюл. № 36.

Информация об авторах

Н. В. Коренева – кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры «Химическая технология» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

В. В. Коньшин – доктор химических наук, заведующий кафедрой «Химическая технология» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

А. Н. Афаньков – студент Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

В. А. Крахмалев – начальник Отдела правовой охраны и использования результатов интеллектуальной собственности Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

А. А. Беушев – кандидат химических наук, директор Института биотехнологии, пищевой и химической инженерии, и.о. проректора по НИР Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

REFERENCES

1. Zharkov, A.S., Potapov, M.G., Pyankov, S.A., Kozharsky, S.P., Shalyuta, V.N. & Ganzha, V.V. (2004). Method of obtaining decorative products from waste cones of coniferous trees. *Pat № 2235023. Russian Federation, publ. 27.08.2004.* Bul. No. 24. (In Russ.).
2. Novikov, V.T., Korolev, A.A. & Tomsk Polytechnic University. (2004). Method of obtaining decorative products from waste of cones of coniferous trees. *Pat 2229389. Russian Federation, publ. May 27, 2004.* Bul. No. 15. (In Russ.).
3. Prieto, J. & Kine, Y. (2008). Wood. Processing and decorative finishing. Moscow: Paintmedia. (In Russ.).
4. Negro, M.J., Manzanares, P., Oliva, J.M., Ballesteros, I. & Ballesteros M. (2003). Changes in vari-

ous physico-chemical parameters of Pinus Pinaster wood after steam explosion pretreatment. *Biomass and Bioenergy*, (25), 301–308. DOI: 10.1016 / S0961-9534 (03) 00017-5.

5. Asada, C., Sasaki, C., Uto, Y., Sakafuji, J. & Nakamura, Y. (2012). Effect of steam explosion pretreatment with ultra-high temperature and pressure on effective utilization of softwood biomass. *Biochemical Engineering Journal*, (60), 25–29. DOI: 10.1016 / j.bej.2011.09.013.

6. Fengel, D. & Wegener, G. (1989). Wood: chemistry, ultrastructure, reactions. Berlin.

7. Skurydin, Yu.G. (2000). The structure and properties of composite materials obtained from wood waste after explosive hydrolysis. Extended abstract of candidate's thesis. Barnaul. (In Russ.).

8. Startsev, O.V., Salin, B.N., Skuridin, Yu.G., Utemesov, R.M. & Nasonov, A.D. (1999). Physical Properties and Molecular Mobility of New Wood Composite Plastic "Thermobalite". *Wood Science and Technology*, 33(1), 73–83. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1007/s002260050100>.

9. Beushev, A.A., Skurydin, Yu.G., Skurydina, E.M., Beusheva, O.S., Afankov, A.N., Nogba, Yu.Zh. & Konshin, V.V. (2016). Chemical modification of seed oat casings, *Avena Sativa*, by the method of explosive autohydrolysis. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 177–180. (In Russ.).

10. Efanov, M.V., Konshin, V.V. & Sinitsyn, A.A. (2019). Obtaining composite materials from peat and wood by the method of explosive autohydrolysis. *Journal of Applied Chemistry*, 92(1), 49–53. (In Russ.). DOI: 10.1134 / S0044461819010067.

11. Skurydin, Yu.G., Skurydin, E.M., Konshin, V.V., Yuku, Nogba Zhan, Beusheva, O.S., Afankov, A.N. & Beushev, A.A. (2019). Influence of the conditions of baroheat treatment and hot pressing on the physical and mechanical characteristics of thermowood. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 142–147. (In Russ.). DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2019.01.026.

12. Obolenskaya, A.V., Elnitskaya, Z.P. & Leonovich, A.A. (1991). Laboratory works on the chemistry of wood and cellulose. Moscow: Ecology. (In Russ.).

13. Gravitis, Ya.A. (1987). Theoretical and applied aspects of the method of explosive autohydrolysis of plant biomass. *Wood Chemistry*, (5), 321.

14. Beusheva, O.S. (2006). Resource-saving technology for processing waste wood from larch. *Extended abstract of candidate's thesis.* Barnaul. (In Russ.).

15. Krakhmalev, V.A., Konshin, V.V. & Afankov, A.N. (2020). A method of obtaining products with modified oat shells. *Pat 2723780. Russian Federation, publ. 06/17/2020.* Bul. No. 17. (In Russ.).

16. Bogatishchev, R.M., Ganzha, V.V. & Nikitchenko, M.N. (2007). A method of obtaining products from waste of cones of coniferous trees and a composition from these waste to obtain products. *Pat. 2350477. Russian Federation, published on 27.12.2007.* Bull. No. 36. (In Russ.).

Information about the authors

N. V. Koreneva – Candidate of Science (Chemistry), Senior Lecturer of the Department of Chemical Technology, Polzunov Altai State Technical University.

V. V. Konshin – Doctor of Chemistry, Head of the Department of Chemical Technology, Polzunov Altai State Technical University.

A. N. Afankov – student of the Polzunov Altai State Technical University.

V. A. Krakhmalev – Head of the Department of Legal Protection and Use of Intellectual Property Results, Polzunov Altai State Technical University.

A. A. Beushev – Candidate of Chemical Sciences, Director of the Institute of Biotechnology, Food and Chemical Engineering, Acting pro-rector for research, 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 10.02.2021; одобрена после рецензирования 01.03.2021; принята к публикации 10.03.2021.

The article was received by the editorial board on 10 Feb 21; approved after reviewing on 01 Mar 21; accepted for publication on 10 Mar 21.

Научная статья
05.16.09 – Материаловедение (по отраслям) (технические науки)
УДК 621.794
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.023

ТЕПЛОЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ЛОПАТОК ТУРБИН АВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

**Владимир Петрович Панков¹, Александр Львович Бабаян²,
Максим Валерьевич Куликов³, Владимир Абрамович Коссой⁴,
Борис Сергеевич Варламов⁵**

1, 2, 3, 4, 5 Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков имени Героя Советского Союза А.К. Серова, Краснодар, Россия

¹ pankovvp61@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9412-5757>

² amb_2004@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0402-5670>

³ mvkulikov@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3147-8464>

⁴ kossoy2007@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3928-4314>

⁵ bor-varlamov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7266-033X>

Аннотация. Исследуются жаропрочные сплавы на основе никеля, жаростойкие и теплозащитные покрытия. Актуальность исследований заключается в защите от окисления при высокотемпературной газовой коррозии жаропрочных сплавов за счет нанесения жаростойких теплозащитных покрытий. Исследованы микроструктура плазменных и диффузионных покрытий лопаток турбин и их изменения в процессе эксплуатации газотурбинного двигателя (ГТД). Проведены исследования многослойного теплозащитного покрытия лопаток турбин авиационных ГТД и обоснованы требования к составу, структуре, долговечности его составляющих: сплаву, термобарьерному слою, связующему покрытию, термически выросшему оксиду, керамическому поверхностному покрытию. В результате испытаний подтверждены характеристики разработанного покрытия; их преимущества по отношению к серийным покрытиям лопаток турбин ГТД.

Ключевые слова: газотурбинный двигатель, жаропрочный сплав, лопатка турбины, окисление, хромоалитирование, смесь, покрытие, микроструктура, термоусталостные трещины, термобарьерный слой, связующее покрытие, остаточные напряжения, температурный коэффициент линейного расширения, долговечность, остаточные напряжения.

Для цитирования: Теплозащитные покрытия лопаток турбин авиационных газотурбинных двигателей / В.П. Панков, А.Л. Бабаян, М.В. Куликов и др. // Ползуновский вестник. 2021. № 1. С. 161–172. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.023.

Original article

HEAT-PROTECTIVE COATINGS FOR TURBINE BLADES OF AIRCRAFT GAS TURBINE ENGINES

**Vladimir P. Pankov¹, Alexander L. Babayan², Maxim V. Kulikov³,
Vladimir A. Kossoy⁴, Boris S. Varlamov⁵**

1, 2, 3, 4, 5 Krasnodar Higher Military Aviation School of Pilots named after Hero of the Soviet Union A.K. Serov, Krasnodar, Russia

© Панков В.П., Бабаян А.Л., Куликов М.В., Коссой В.А., Варламов Б.С., 2021

¹ pankovvp61@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9412-5757>

² amb_2004@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0402-5670>

³ mvkulikov@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3147-8464>

⁴ kossoy2007@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3928-4314>

⁵ bor-varlamov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7266-033X>

Abstract. Heat-resistant nickel-based alloys, heat-resistant and heat-protective coatings are studied. The relevance of the research is to protect heat-resistant alloys from oxidation during high-temperature gas corrosion by applying heat-resistant heat-protective coatings. The microstructure of plasma and diffusion coatings of turbine blades and their changes during the operation of a gas turbine engine are examined. Studies of the multilayer heat-protective coating of turbine blades of aircraft gas turbine engines are carried out and the requirements for the composition, structure, and durability of its components – alloy, thermal barrier layer, binder coating, thermally grown oxide, and ceramic surface coating – are justified. As a result of the tests, the characteristics of the developed coating, their advantages in relation to the serial coatings of the turbine blades of the gas turbine engine were confirmed.

Keywords: gas turbine engine, heat-resistant alloy, turbine blade, oxidation, chromoaltration, mixture, coating, microstructure, thermal fatigue cracks, thermal barrier layer, binder coating, residual stresses, temperature coefficient of linear expansion, durability, residual stresses.

For citation: Pankov, V.P., Babayan, A.L., Kulikov, M.V., Kossoy, V.A. & Varlamov, B.S. (2021). Heat-protective coatings for turbine blades of aircraft gas turbine engines. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 161-172. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.023.

Для изготовления деталей газовых турбин, работающих в условиях воздействия газового потока (рисунок 1), широкое применение нашли жаропрочные сплавы на основе никеля.



Рисунок 1 – Лопатки турбины из жаропрочных сплавов на основе никеля

Figure 1 – Turbine blades from high temperature nickel base alloys

Чем выше температура эксплуатации таких сплавов, тем в большей мере недостаточная жаростойкость ограничивает срок их службы [1]. Для обеспечения сопротивляемости окислению на жаропрочные сплавы наносят жаростойкие покрытия. Покрытие наружной поверхности лопатки – СДП2-ВСДП16; структура – твердый раствор на основе никеля, отличается хорошей культурой производ-

ства, технологичностью. Однако покрытия, полученные плазменным методом и методом катодного распыления, характеризуются высокой пористостью, значительными внутренними напряжениями, невысокой жаростойкостью и долговечностью.

Внутренняя поверхность лопатки – хромоалитированный слой – фаза NiAl, обедненная алюминием, в которой распределены частицы σCr и Al_2O_3 – во внутренней зоне, частицы TiC, VC, M_6C , M_{23}C_6 на границе между зонами и во внутренней зоне [2].

В процессе эксплуатации происходит исчерпание защитных свойств и накопление различных дефектов в жаростойких покрытиях и в поверхностных слоях без покрытий. Основной вклад в исчерпание защитных свойств жаростойких покрытий вносит уменьшение количества алюминия в покрытии. Уменьшение количества алюминия в покрытии происходит в результате окисления, скола оксидной пленки Al_2O_3 , диффузии никеля из подложки в покрытие и диффузии алюминия из покрытия в подложку. За счет обеднения слоя алюминия происходит интенсивное окисление матрицы и возможно возникновение усталостных трещин.

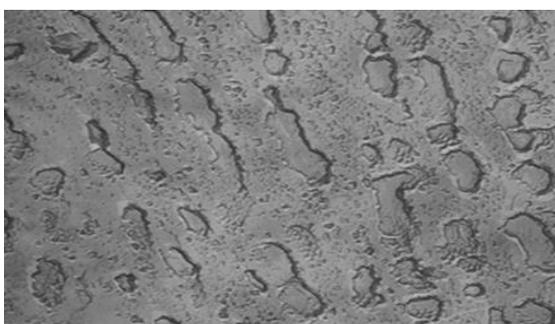
При эксплуатации в материале лопаток под воздействием высокой температуры и напряжений накапливаются структурные изменения, которые снижают жаропрочность материала [3]:

ТЕПЛОЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ЛОПАТОК ТУРБИНАВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

- частицы γ -фазы в процессе эксплуатации укрупняются и вытягиваются в направлении, перпендикулярном действиям напряжений (рисунок 2);



а)



б)

Рисунок 2 – Микроструктуры сплава ЖС32ВСНК лопаток турбины ($\times 1000$):
а) после наработки 17 часов;
б) после наработки 255 часов

Figure 2 – Microstructures of ZhS32VSNK alloy of turbine blades ($\times 1000$):
a) after 17 hours of operation;
b) after 255 hours of operation

- исходная γ -фаза расслаивается на две фракции, по-разному обогащенные γ -образующими элементами (Ti, Nb, Al, V), что приводит к химической неоднородности сплава и последующему повышению температуры полного растворения его γ -фазы;

- в результате карбидных реакций изменяется морфология карбидной фазы. Происходит дополнительное выделение карбидов по границе зерен;

- в твердом растворе и на поверхности раздела γ/γ' -фаз заметно повышается плотность дислокаций. По границам зерен образуется каркас из карбидных частиц, окруженных практически сплошным слоем γ -фазы. В подповерхностных зонах и междендритных областях развивается субмикроскопическая пористость [4, 5].

Термоусталостные трещины в покрытиях легко переходят в сплав лопатки (рисунок 3) и разрушают ее (рисунок 4).

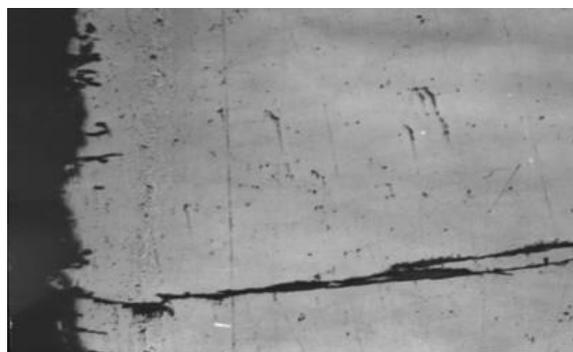


Рисунок 3 – Термоусталостные трещины покрытия, переходящие в сплав

Figure 3 – Thermal fatigue cracks alloying coatings



Рисунок 4 – Термоусталостное разрушение лопаток турбин

Figure 4 – Thermalfatigue destruction of turbine blades

Важнейшее значение в обеспечении необходимой долговечности лопаток турбин авиационных ГТД принадлежит сохранению как высокой жаропрочности материала лопаток, так и высокой жаростойкости применяемых покрытий с минимальным отрицательным воздействием их на материал основы и механические свойства жаропрочного сплава.

Применение теплозащитных покрытий (ТЗП) позволяет существенно понизить термические напряжения на охлаждаемых лопатках, увеличить их долговечность, повысить температуру газа перед турбиной.

Разработанное ТЗП, нанесенное на лопатку турбины ГТД, состоит из компонентов, каждый из которых имеет заметно отличаю-

щиеся физические, тепловые, и механические свойства, создавая, по существу, комплексную структуру.

Пять слоев в современной системе ТЗП созданы из различных материалов со специфическими свойствами и функциями:

- основной сплав (непосредственно материал изделия);
- термобарьерный слой;
- связующее покрытие;
- термически выращенный оксид (ТГО);
- керамическое поверхностное покрытие.

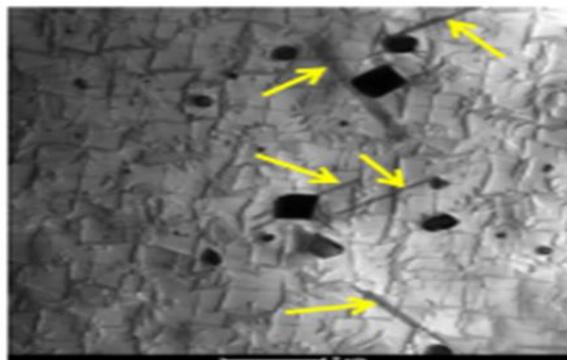
Основной сплав – ЖС32ВСНК – жаропрочный никелевый ренийсодержащий сплав с интерметаллидно-карбидным упрочнением. Материал лопатки охлаждается воздухом изнутри или через внутренние полые каналы, таким образом, устанавливая температурный градиент поперек стенки изделия. Изделие из сплава в монокристаллических или поликристаллических формах содержит от 10 до 30 дополнительных элементов, которые добавляются для повышения различных свойств, таких как жаростойкость, пластичность, стойкость против окисления, стойкость к горячей коррозии, а также для улучшения литейных свойств. Вследствие неравновесных условий направленной кристаллизации, приводящей к сегрегации легирующих элементов в пределах дендритных ячеек, монокристаллические отливки из сплава ЖС32ВСНК характеризуются значительной химической и структурной неоднородностью [6].

В монокристаллических отливках из сплава ЖС32ВСНК размер и форма упрочняющих частиц γ' -фазы значительно различаются в дендритах и междендритных областях, в последних – частицы γ' -фазы значительно крупнее, чем в осях дендритов. В междендритных участках монокристалла залегают выделения неравновесной эвтектики $\gamma'+\gamma$ (или перитектической γ' -фазы) в количестве до 5 % (объема).

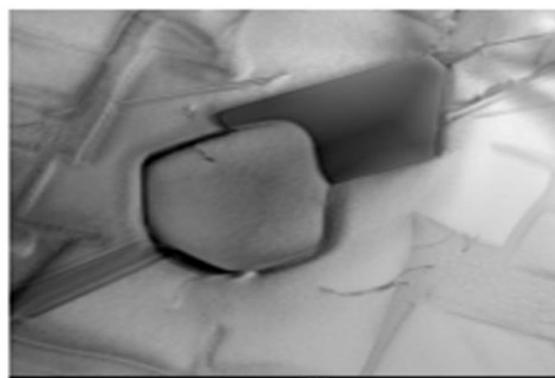
Применение высокотемпературной гомогенизирующей термической обработки позволяет в значительной степени устранить дендритную сегрегацию легирующих элементов и сформировать равномерную периодичную микроструктуру материала турбинных лопаток, обеспечивающую их длительную работоспособность.

Однако устранить полностью сегрегацию одного из основных легирующих элементов – рения не удается из-за его низкой диффузионной подвижности [7]. В состав карбидов входят в основном ниобий, тантал и хром с небольшими добавками вольфрама, молибдена и рения. При этом соотношение легиру-

ющих элементов в карбидных частицах изменяется в зависимости от их морфологии и размера (рисунок 5).



а)



б)

Рисунок 5 – Микроструктура сплава ЖС32 после термической обработки

- а) дефекты упаковки;
б) карбиды типа (Ta, Nb) C – светлые и (W, Cr) C – темные

Figure 5 – Microstructure of ZhS32 alloy after heat treatment

- а) packaging defects;
б) carbides of the (Ta, Nb) C type – light and (W, Cr) C – dark

Термобарьерный слой состава NiAlCrW-TaYSiHf предназначен для снижения диффузионного обмена между покрытием и сплавом в комбинированном покрытии толщиной 20–30 мкм.

Связующее покрытие – устойчивый против окисления металлический слой NiCrAlY толщиной 75–80 мкм. Он, по существу, диктует адгезию ТЗП. Покрытие получено путем хромоалитирования в вакууме и после термообработки имеет структуру – $\beta+\gamma$ -фаза (рисунок 6) [8,9].

ТЕПЛОЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ЛОПАТОК ТУРБИНАВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

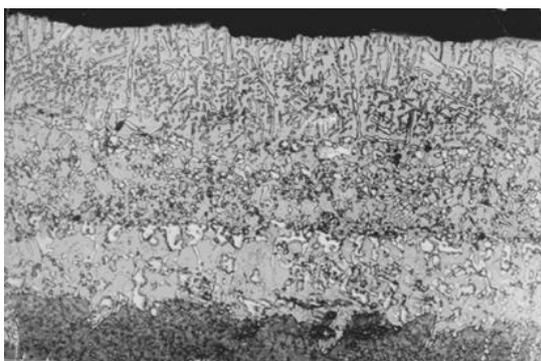


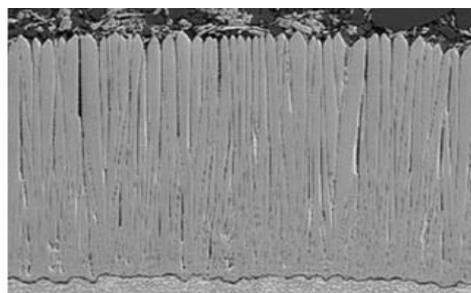
Рисунок 6 – Микроструктура покрытия после хромоалитирования и термовакуумной обработки: внешняя зона – NiAl и Ni₃Al, внутренняя зона – NiAl, карбиды типа M₆C, MC, M₂₃C₆ и продолговатые включения μ фазы)

Figure 6 – The microstructure of the coating after chromium-alloying and thermal vacuum treatment: outer zone – NiAl and Ni₃Al, inner zone – NiAl, carbides of the type M₆C, MC, M₂₃C₆ and elongated inclusions of the μ phase)

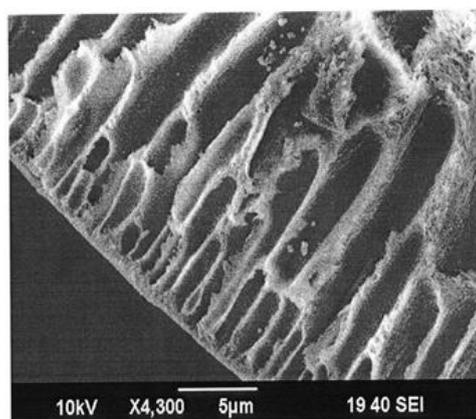
При пиковых эксплуатационных условиях температура связующего покрытия в газотурбинных двигателях обычно превышает 700 °С, приводя к окислению связующего покрытия и неизбежному формированию третьего слоя – термически выращенного оксида (TGO; толщина 5–15 мкм) между связующим покрытием и керамическим поверхностным покрытием. Сквозная пористость, которая всегда существует в поверхностном керамическом покрытии, позволяет кислороду легко проникать из эксплуатационной среды к связующему покрытию. Кроме того, даже если поверхностное покрытие было плотным, чрезвычайно высокая диффузионная способность кислорода в керамическом поверхностном покрытии на базе ZrO₂ делает его «кислородопрозрачным» (рисунок 7, а, б).

Хотя формирование TGO неизбежно, идеальное покрытие связи проектируется, чтобы гарантировать, что TGO формируется как α-Al₂O₃ и что его рост является медленным, однородным, и бездефектным. Такой TGO имеет очень низкую ионную диффузионную способность для кислорода и создает превосходный диффузионный барьер, замедляя дальнейшее окисление связующего покрытия. Для повышения жаростойкости покрытий лопаток турбин повышают запас алюминия в покрытиях, напыляют слои с высоким содержанием алюминия (BCDP16), однослойную или многослойную керамику на основе ZrO₂-Y₂O₃ с подпылением Al₂O₃, Si, Al для снижения ее пористости, обусловленной

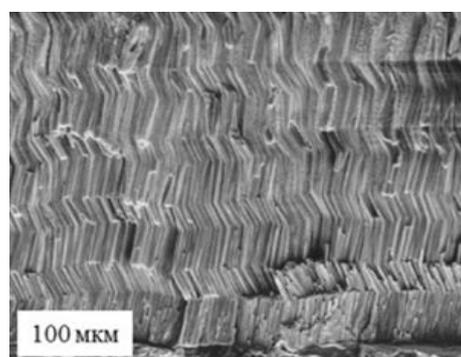
столбчатым строением (патент РФ № 2349679, 2402639, 2469129, 2272089).



а)



б)



в)

Рисунок 7 – Теплозащитное покрытие лопаток турбин ГТД:

- а) микроструктура покрытия;
- б) столбчатое строение керамического слоя по сечению покрытия;
- в) зигзагообразное керамическое покрытие (YSZ), получаемый методом EB-DVD

Figure 7 – Heat-shielding coating GTE turbine blades:

- а) the microstructure of the coating;
- б) columnar structure of the ceramic layer over the cross section of the coating;
- в) zigzag ceramic coating (YSZ) obtained by the EB-DVD method

Интересными представляются исследования зигзагообразного керамического покрытия (YSZ), получаемого методом EB-DVD, разрабатываемым ВИАМ (рисунок 7, в).

Керамическое поверхностное покрытие – это слой, обеспечивающий теплоизоляцию, состоит из ZrO_2 , стабилизированного Y_2O_3 . $ZrO_2-Y_2O_3$ (YSZ) обладает комплексом свойств, которые делают этот материал наилучшим выбором для поверхностного покрытия (рисунок 8). Диоксид циркония, благодаря меньшему модулю Юнга и большему температурному коэффициенту линейного расширения (ТКЛР), более совместим с жаропрочными сплавами. Он имеет один из самых низких из всех керамик коэффициент теплопроводности при повышенной температуре (2,3 Вт/м·К при 1000 °С) из-за высокой концентрации точечных дефектов (вакансии кислорода и замещенные атомы растворенного вещества) [10].

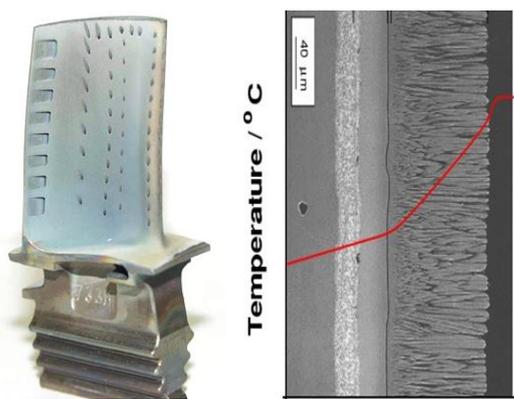


Рисунок 8 – Микроструктура ($\times 250$) комплексного защитного покрытия, включающего жаростойкое покрытие и ТЗП со столбчатой структурой

Figure 8 – Microstructure ($\times 250$) of a complex protective coating, including Heat-resistant coating and columnar structure ТКР

YSZ также имеет высокий коэффициент теплового расширения ($11 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$), который помогает уменьшить напряжения, являющиеся результатом рассогласования терморасширения между керамическим покрытием и основным металлом изделия ($14 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$).

YSZ имеет относительно низкую плотность ($6,4 \text{ г/см}^3$), что является важным при рассмотрении паразитного веса во вращающихся изделиях; твердость 14 ГПа, что позволяет сопротивляться воздействию инород-

ных предметов и эрозии; хорошую стойкость к атмосферной и высокотемпературной коррозии. Наконец, YSZ имеет температуру плавления (2700 °С), что позволяет применять его при высокой температуре. Хотя ZrO_2 может быть стабилизирован различными оксидами (MgO , CeO_2 , Sc_2O_3 , In_2O_3 , CaO), ZrO_2 стабилизированный Y_2O_3 (YSZ) максимально соответствует свойствам ТЗП.

Для применения при рабочих температурах выше 1300 °С материалы ТЗП со структурой пироклора $A_2B_2O_7$ обладают очень привлекательными свойствами, сопоставимыми с YSZ. Среди широко исследованных пироклоров редкоземельные цирконаты ($Ln_2Zr_2O_7$), где Ln – любой или комбинация La, Gd, Sm, Nd, Eu и Yb. Некоторые материалы на основе гафния ($La_2Hf_2O_7$ и $Gd_2Hf_2O_7$) и церия ($La_2Ce_2O_7$ и $La_2(Zr_{0.7}Ce_{0.3})_2O_7$) также являются интересными материалами для теплозащиты. Среди пироклоров $La_2Zr_2O_7$ кажется одним из самых перспективных для теплозащитных покрытий, из-за его выдающихся свойств, по сравнению со стандартным YSZ – высокая термоустойчивость до 2000 °С, низкая удельная теплопроводность и высокая температура спекания.

YSZ может находиться в трех различных полиморфных модификациях – моноклинной, тетрагональной или кубической, в зависимости от композиции и температуры. Добавление 7–8 % по массе Y_2O_3 стабилизирует t' фазу – самую желательную фазу для применения в ТЗП. Это – вариация тетрагональной фазы, но, в отличие от нее, более стабильна, так как не подвергается мартенситному превращению (рисунок 9, таблица 1).

Максимальная долговечность ТЗП соответствует максимальному содержанию тетрагональной фазы в структуре покрытия, содержащей небольшие количества моноклинной фазы. Небольшой долговечностью характеризуются покрытия, имеющие кубические структуру.

Стремление улучшить теплозащиту за счет наращивания толщины покрытия перспективно, т. к. при этом будет возрастать изгибающий момент от действия центробежных сил и происходить ускоренное выкрашивание покрытия.

Из [11] следует, что суммарные изгибающие напряжения у основания столбиков керамики от действия центробежных сил и температурных градиентов при уменьшении толщины покрытия стабилизируются.

ТЕПЛОЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ЛОПАТОК ТУРБИНАВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

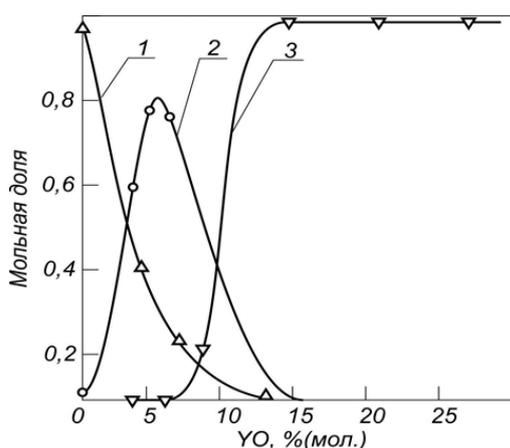


Рисунок 9 – Зависимость количества моноклинной (1), тетрагональной (2), кубической (3) фаз от содержания оксида иттрия в покрытии

Figure 9 – Dependence of quantity monoclinic (1), tetragonal (2), cubic (3) phases on the oxide content yttrium in coating

Таблица 1 – Фазовый состав (% моль) ТЗП в зависимости от содержания Y₂O₃

Table 1 – Phase composition (% mol) of TZP depending on the content of Y₂O₃

Y ₂ O ₃ , (% мас.)	Фазы	Содержание фазы после напыления
4,3	Моноклинная	22
	Кубическая	4
	Тетрагональная	74
6,1	Моноклинная	16
	Кубическая	6
	Тетрагональная	78
8,9	Моноклинная	8
	Кубическая	13
	Тетрагональная	79
19,6	Моноклинная	3
	Кубическая	70
	Тетрагональная	27

Это обусловлено увеличением температурных напряжений одновременно с уменьшением напряжений, вызванных центробежными силами. Уменьшение толщины ТЗП менее 120 мкм нецелесообразно (рисунок 10)

Для определения служебных свойств ТЗП проводят их испытания как лабораторные, так и эксплуатационные. Растрескивание и отслаивание керамической составляющей при теплосменах является главным препятствием, которое ограничивает возможности применения ТЗП, поэтому основными лабораторными испытаниями для ТЗП являются испытания на термостойкость или на термомеханическую усталость с фиксацией рас-

трескивания или отслаивания покрытия. В большом числе работ критериями разрушения ТЗП служило появление на покрытии трещины, видимой при 10-кратном увеличении, поскольку наличие таких трещин предшествует сколу покрытия.

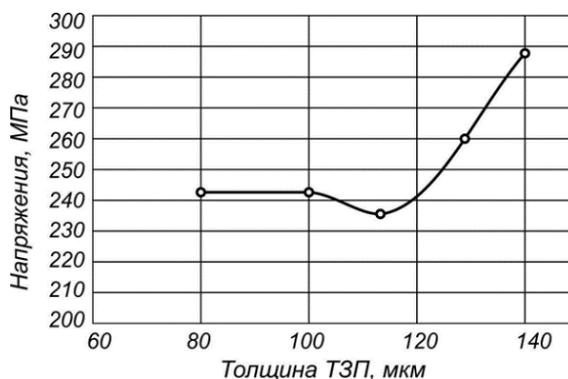


Рисунок 10 – Зависимость максимальных изгибных напряжений в ТЗП лопаток ТВД от толщины покрытия

Figure 10 – Dependence of the maximum bending stresses in TZP of HPT blades on the thickness of the coating

Применительно к авиационным деталям такой критерий следует считать достаточно хорошим. Разрушение в керамике начинается с возникновения продольной трещины на расстоянии 10–15 мкм от связующего покрытия. В дальнейшем трещина развивается как в длину, так и в ширину. Затем, участок керамики над трещиной отделяется (шелушится) от защищаемого образца либо детали.

Долговечность при испытаниях ТЗП (NiCrAlY – ZrO₂Y₂O₃; толщина покрытия hp – 130 мкм) зависит от максимальной температуры цикла (рисунок 11). Критерием разрушения ТЗП считали появление на покрытии трещины, видимой при 10-кратном увеличении (рисунок 12).

Полагаем, что окисление связующего покрытия определяет долговечность ТЗП. В таблице приведены результаты рентгено-спектрального микроанализа (РСМА) связующего покрытия до и после испытаний после изотермических выдержек при 1200 °С (таблица 2) [12].

Как мы уже отмечали, разрушение ТЗП начинается с расслоения керамического слоя. Трещина возникает вблизи поверхности связующего покрытия и вначале распространяется параллельно ей (рисунок 12). Затем происходит расширение трещины и шелушение покрытия. Установлено, что:

1. Возникновение продольных трещин в керамике обусловлено действием биаксиаль-

ных сжимающих напряжений, возникающих при охлаждении покрытия. Во время нагревания растягивающие напряжения достигают наибольшей величины.

2. В процессе работы при высокой температуре происходит накопление повреждений и ослабление покрытий. Этот процесс связан как с окислением связующего покрытия, так и с циклическим изменением температуры.

3. Окисление связующего покрытия играет определяющую роль в ослаблении ТЗП.

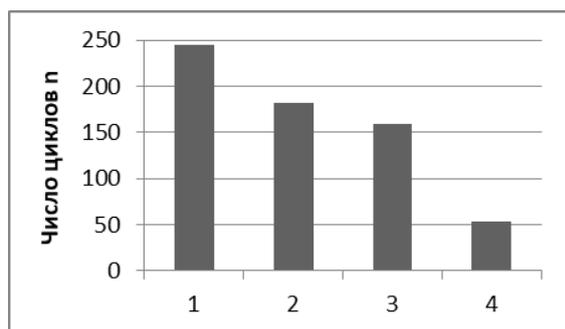


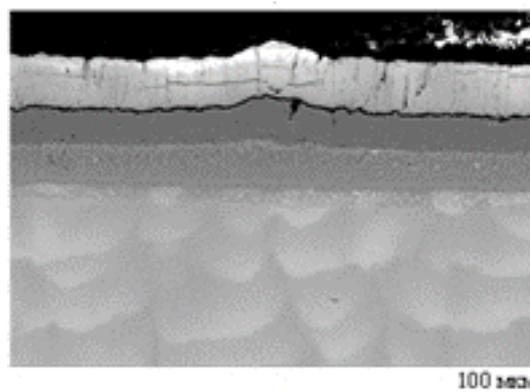
Рисунок 11 – Зависимость долговечности ТЗП от температуры цикла

1 – 1410 °C; 2 – 1440 °C; 3 – 1480 °C; 4 – 1540 °C

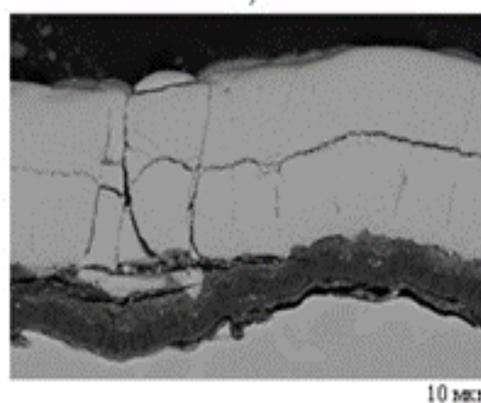
Figure 11 – Dependence of the durability of the TSP on the cycle temperature

1 – 1410 °C; 2 – 1440 °C; 3 – 1480 °C; 4 – 1540 °C

Этот вывод подтверждается тем, что при 1250 °C после выдержки более 5 ч в воздушной атмосфере покрытие при охлаждении разрушается, а после выдержки в течение 20 ч и более в атмосфере аргона покрытие сохраняет высокую сопротивляемость разрушению.



а)



б)

Рисунок 12 – Микроструктура ТЗП: а) до испытаний, б) после испытаний (температура цикла: 1410–20 °C)

Figure 12 – TSP Microstructure: a) before testing, b) after testing (cycle temperature: 1410–20 °C)

Таблица 2 – Результаты РСМА состава покрытия лопатки турбины двигателя до и после 1200 % эквивалентно-циклических испытаний на двигателе, (в числителе – среднее содержание по покрытию, в знаменателе – содержание у поверхности)

Table 2 – Results of RSMA of the coating composition of the engine turbine blade before and after 1200 % equivalent cyclic tests on the engine, (in the numerator – the average content over the coating, in the denominator – the content at the surface)

Теплозащитное покрытие	Состояние	Концентрация элементов, % мас				
		Al	Cr	Ni	Co	W
Комбинированное	До испытаний	20,0	4,0	62,5	3,7	7,1
		23,1	2,0	63,9	3,0	5,0
Комбинированное	После испытаний	18,0	4,5	63,9	4,7	9,4
		17,5	4,0	59,5	4,5	9,4
СДП2-ВСДП16	До испытаний	17,0	20,0	63,0	0,2	0
		19,5	9,0	68,0	0,2	0
СДП2-ВСДП16	После испытаний	10,1	15,3	62,6	2,3	8,2
		12,7	9,9	63,5	2,2	8,2

ТЕПЛОЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ЛОПАТОК ТУРБИНАВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Из этого также следует, что диффузионные процессы, идущие между покрытием и подложкой при высокой температуре, не оказывают очень большого влияния на ослабление покрытия. Шелушение покрытия после его расслоения происходит также под действием сжимающих напряжений, но эти напряжения формируются при нагреве. В начале нагрева часть покрытия, которая отслоилась от подложки, нагревается быстрее остальной части, стремится расшириться, но, будучи стеснена более холодной, не потерявшей контакт с подложкой областью покрытия, вспучивается и шелушится.

При высокой температуре в системе покрытие–подложка происходят термически активируемые процессы: диффузионные, фазовые превращения, пластическая деформация и окисление, в результате диффузионных процессов, обусловленных преимущественным окислением алюминия и хрома и диффузионным обменом между связующим и подложкой, изменяется концентрация легирующих элементов в связующем покрытии.

Исследования позволили установить, что при 1200 °С и выше из связующего покрытия хром диффундирует в подложку, а иттрий – в направлении керамического слоя. Молибден, кобальт и титан из подложки диффундируют в связующее покрытие. С увеличением продолжительности выдержки при 1200 °С в связующем покрытии уменьшаются концентрации хрома и алюминия, уменьшается и количество β-фазы, что ведет к ухудшению жаростойкости, и к понижению пластичности связующего покрытия при высоких (выше 800 °С) температурах. Следует заметить, что уменьшение концентрации алюминия и хрома на границе с керамическим покрытием из-за процесса окисления более значительное, чем уменьшение на границе связующего покрытия с подложкой, где идет диффузионный обмен. Это свидетельствует о том, что окисление в процессе изменения состава связующего покрытия играет решающую роль и подчеркивает эффективность барьерного слоя NiAlCrWTaYSiHf.

Представляет интерес состав оксидов на связующем покрытии. В начальный период окисления при 1200 °С через 10 ч оксидная пленка на связующем покрытии имеет следующий состав: 21,8 % Al₂O₃; 27,6 % Cr₂O₃; 2,8 % CoO и 47,8 % NiO. Через 100 ч окисления образуются 93,1 % Al₂O₃ и 6,9 % Cr₂O₃. Эти два оксида и определяют свойства пленки.

Из-за различия ТКЛР покрытия из никелевого сплава напряжение σ_α в керамиче-

ском слое покрытия выражается соотношением:

$$\sigma_{\alpha} = \frac{E_K (\bar{\alpha}_M - \bar{\alpha}_K) (T_{\Pi} - T_0)}{1 - \mu_K}$$

где: E_K – модуль Юнга керамики; $\bar{\alpha}_M$, $\bar{\alpha}_K$ – средние ТКЛР металла и керамики в интервале T_Π–T₀; μ_K – коэффициент Пуассона керамики.

Градиент температур:

$$T_{\Pi} - T_0 = \frac{Q \cdot t}{A \cdot \lambda}$$

где Q – количество подводимого тепла; A – площадь нагрева; t – толщина покрытия; λ – коэффициент теплопроводности.

ТКЛР монокристаллов ZrO₂ и ZrO₂–Y₂O₃ при различных концентрациях Y₂O₃ приведены в таблице 3; влияние ТКЛР подложки на термостойкость ТЗП – на рисунке 13.

Таблица 3 – ТКЛР монокристаллов ZrO₂ и ZrO₂–Y₂O₃ при различных концентрациях Y₂O₃

Table 3 – LTEC of ZrO₂ and ZrO₂–Y₂O₃ single crystals at different concentrations of Y₂O₃

ZrO ₂ , % (мас.)	0	3	4	5
t, °C	20–1180	640–1500	550–1500	20–1500
α, 10 ⁻⁶ °C ⁻¹	8,12	9,33	11,38	10,99
Y ₂ O ₃ , % (мас.)	6	8	12	20
t, °C	20–1500	20–1500	20–1500	20–1500
α, 10 ⁻⁶ °C ⁻¹	10,68	10,92	10,23	11,08

Для покрытия на основе стабилизированного диоксида циркония при 1100 °С E_K = 2,1·10⁴ МПа и μ_K = 0,25. В интервале 20–1100 °С $\bar{\alpha}_K$ = 12,2·10⁻⁶ °С⁻¹; $\bar{\alpha}_M$ = 18,5·10⁻⁶ °С⁻¹.

Для большинства литейных никелевых сплавов в интервале 20–1000 °С α = (14,3–14,8)·10⁻⁶ °С⁻¹. Для диффузионных покрытий ТКЛР невелики: α = (14,3) 10⁻⁶ °С⁻¹ для алюминидных покрытий структурой β-фазы, α = (13,5)·10⁻⁶ °С⁻¹ для алюминидных покрытий структурой β + 50 % γ'- фазы.

Рассчитав, получим, что при 1100 °С в керамическом покрытии вблизи металлической подложки действует растягивающее напряжение σ = 190 МПа, а вычисленная деформация составляет примерно 0,7 %. Под влиянием такого напряжения покрытие растрескается, но сцепления с подложкой не теряет. Когда мы рассматриваем формирование напряжений в покрытии ZrO₂–

$Y_2O_3/NiCrAlY$, то необходимо иметь в виду, что при температурах выше 800 °С связующее покрытие весьма пластично и возникающие в нем напряжения релаксируют в течение нескольких секунд. Поэтому, например, через несколько секунд после того, как температура покрытия станет равной 1100 °С, напряжения в нем будут малы. При последующем охлаждении из-за различия ТКЛР подложки и керамического слоя в последнем будут возникать сжимающие напряжения. Они будут интенсивно возрастать, когда температура покрытия станет ниже 800 °С, т. е. ниже температуры перехода из пластичного в упругое состояние для связующего покрытия.

Обычно в покрытии имеются небольшие остаточные напряжения. При быстром нагревании в покрытии возникают термические напряжения из-за различия между температурой на его поверхности ТП и на границе с подложкой, которая равна комнатной Т0. Наружные слои стремятся растянуться, а внутренние, более холодные, жестко их сжимают. В результате этого развиваются биаксиальные сжимающие и радиальные растягивающие напряжения. Под действием этих напряжений керамический слой стремится изогнуться и отделиться от подложки.

На стадии лабораторных испытаний можно оценить эксплуатационную эффективность различных видов покрытий К [12].

$$K = t \cdot T \cdot \Delta t,$$

где: t (ч) – долговечность (жаростойкость) покрытия; T (ц) – термостойкость (в циклах); Δt – термобарьерная способность (температурный перепад между температурой на поверхности лопатки (T_n) и температурой на сплаве (T_c)).

$$\Delta t = T_n - T_c.$$

Лучше и нагляднее вести сравнение по lgK – критерию надежности (таблица 4).

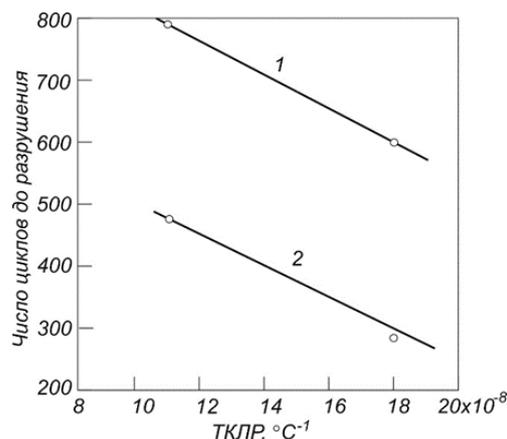


Рисунок 13 – Влияние ТКЛР подложки на термостойкость ТЗП при циклических испытаниях при 1250 °С для покрытий $ZrO_2 - 6\% Y_2O_3$ (1) и $ZrO_2 - 7,8\% Y_2O_3$ (2)

Figure 13 – Influence of the thermal expansion coefficient of the substrate on the thermal shock resistance at cyclic tests at 1250 °С for coatings $ZrO_2 - 6\% Y_2O_3$ (1) and $ZrO_2 - 7,8\% Y_2O_3$ (2)

Таблица 4 – Характеристики покрытий

Table 4 – Characteristics of coatings

Покрытие	Долговечность при 1100 °С, t (ч)	Термостойкость, T (ц)	Термобарьерная способность, Δt	Критерий долговечности, K	Критерий надежности, lgK
Хромоалитирование в порошковой смеси	100	300	15	450000	5,6
Диффузионное конденсационное	850	5800	20	294000000	7,9
ТЗП с алюмоцирконием	400	4000	130	208000000	8,3
ТЗП с конденсированным подслоем NiAlCrWTaYSiHf	280	4050	110	124740000	8,1
ТЗП с конденсированным подслоем NiAlCrWTaYSiHf, NiCrAlY толщиной 75–80 мкм; структурой – $\beta+\gamma'$ -фаза; $ZrO_2-Y_2O_3$ толщиной 150 мкм подпылением Al_2O_3	450	4040	127	230886000	8,36

Проведенные исследования позволили разработать долговечное теплозащитное покрытие на сплаве ЖС32ВСНК с барьерным слоем NiAlCrWTaYSiHf толщиной 20–30 мкм, связующим покрытием – хромоалитирован-

ный слой толщиной 75–80 мкм структурой – $\beta+\gamma'$ -фаза и керамическим поверхностным слоем $ZrO_2-Y_2O_3$ толщиной 150 мкм, обеспечивающий высокую теплоизоляцию лопаток турбин и их долговечность в целом.

ТЕПЛОЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ЛОПАТОК ТУРБИН АВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коломыцев П.Т. Высокотемпературные защитные покрытия для никелевых сплавов. – М. : Metallurgia, 1991.
2. Панков В.П. Исследования сплавов и покрытий лопаток турбин газотурбинных двигателей в процессе эксплуатации // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2016. – № 5(137). – С. 36–40.
3. Панков В.П., Шаталов А.И., Соловьев В.А. Структурные изменения в жаростойких покрытиях лопаток турбин при эксплуатации // НаукаПарк. – 2014. – № 2–2 (22). – С. 51–55.
4. Панков В.П. Исследования комбинированных жаростойких покрытий лопаток турбин газотурбинных двигателей // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2016. – № 3 (135). – С. 26–30.
5. Панков В.П., Шаталов А.И., Соловьев В.А. Комбинированные жаростойкие покрытия лопаток турбин газотурбинного двигателя // НаукаПарк. – 2014. – № 2–2 (22). – С. 56–61.
6. Петрушин Н.В., Висик Е.М., Горбовец М.А., Назаркин Р.М. Структурно-фазовые характеристики и механические свойства монокристаллов жаропрочных никелевых ренийсодержащих сплавов с интерметаллидно-карбидным упрочнением // Металлы. – 2016. – № 4. – С. 57–70.
7. Панков В.П., Бабаян А.Л., Швецов А.А., Куликов М.В., Нефедовский В.А. Исследование закономерностей формирования диффузионных покрытий на современных жаропрочных никелевых сплавах // Ползуновский вестник. – 2020. – № 1. – С. 124–129. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.01.025.
8. Панков В.П., Ковалев В.Д. Исследование диффузионных покрытий, нанесенных методов хромоалитирования в вакууме // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2020. – Т. 16. – № 2 (182). – С. 85–92.
9. Панков В.П., Арустамова И.С., Степанова М.В., Фурсина А.Б., Арутюнян М.М. Исследование закономерностей формирования диффузионных покрытий, нанесенных хромоалитированием в вакууме // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2020. – Т. 16. – № 10 (190). – С. 460–467.
10. Коломыцев П.Т. Жаростойкие диффузионные покрытия. – М. : Metallurgia, 1979.
11. Бычков Н.Г., Першин А.В., Гармонин А.М. Экспериментальные исследования технологии нанесения и эффективности ТЗП для рабочих лопаток турбин и элементов камеры сгорания // Т.О. № 200-5599, ЦИАМ, 2008.
12. Иванов Е.Г., Опокин В.Г., Равилов В.М., Самойленко В.М. Оценка эксплуатационной эффективности диффузионных покрытий для лопаток турбины современных газотурбинных двигателей // Научный вестник МГТУ ГА. – 2014. – № 206. – С. 56–58.

Информация об авторах

В. П. Панков – кандидат технических наук, доцент Краснодарского высшего воен-

ного авиационного училища летчиков имени Героя Советского Союза А.К. Серова.

А. Л. Бабаян – кандидат химических наук, Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков имени Героя Советского Союза А.К. Серова.

М. В. Куликов – кандидат химических наук, Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков имени Героя Советского Союза А.К. Серова.

В. А. Коссой – Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков имени Героя Советского Союза А.К. Серова.

Б. С. Варламов – кандидат химических наук, Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков имени Героя Советского Союза А.К. Серова.

REFERENCES

1. Kolomytsev, P.T. (1991). *High-temperature protective coatings for nickel alloys*. Moscow : Metallurgy. (In Russ.).
2. Pankov, V.P. (2016). Investigation of alloys and coatings of turbine blades of gas turbine engines during operation. *Strengthening technologies and coatings*, 5 (137), 36–40. (In Russ.).
3. Pankov, V.P., Shatalov, A.I. & Soloviev, V.A. (2014). Structural changes in heat-resistant coatings of turbine blades during operation. *NaukaPark*, 2–2 (22), 51–55. (In Russ.).
4. Pankov, V.P. (2016). Research of combined heat-resistant coatings of turbine blades of gas-turbine engines. *Strengthening technologies and coatings*, 3 (135), S. 26-30. (In Russ.).
5. Pankov, V.P., Shatalov, A.I. & Soloviev, V.A. (2014). Combined heat-resistant coatings of turbine blades of a gas turbine engine. *NaukaPark*, 2–2 (22), 56–61. (In Russ.).
6. Petrushin, N.V., Visik, E.M., Gorbovets, M.A. & Nazarkin R.M. (2016). Structural-phase characteristics and mechanical properties of single crystals of heat-resistant nickel rhenium-containing alloys with intermetallic-carbide hardening. *Metals*, (4), 57–70. (In Russ.).
7. Pankov, V.P., Babayan, A.L., Shvetsov, A.A., Kulikov, M.V. & Nefedovsky V.A. (2020). Investigation of the regularities of the formation of diffusion coatings on modern heat-resistant nickel alloys. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 124–129. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.01.025.
8. Pankov, V.P. & Kovalev V.D. (2020). Investigation of diffusion coatings applied by chromium-alloying methods in vacuum. *Strengthening technologies and coatings*, 16(2(182)), 85–92. (In Russ.).
9. Pankov, V.P., Arustamova, I.S., Stepanova, M.V., Fursina, A.B. & Arutyunyan M.M. (2020). Investigation of the regularities of the formation of diffusion coatings applied by chromium-alloying in vacuum. *Strengthening technologies and coatings*, 16(10 (190)), 460–467. (In Russ.).

10. Kolomytsev, P.T. (1979). *Heat-resistant diffusion coatings*. Moscow : Metallurgy. (In Russ.).

11. Bychkov, N.G., Pershin, A.V. & Garmonin, A.M. (2008). Experimental studies of the application technology and the efficiency of TSP for rotor blades of turbines and elements of the combustion chamber. *T.O. CIAM*, (200), (P.5599).

12. Ivanov, E.G., Opokin, V.G., Ravilov, V.M. & Samoilenko V.M. (2014). Evaluation of the operational efficiency of diffusion coatings for turbine blades of modern gas turbine engines. *Scientific Bulletin of MSTU GA*, (206), 56–58. (In Russ.).

Information about the authors

V. P. Pankov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Krasnodar

Higher Military Aviation School of Pilots named after Hero of the Soviet Union A.K. Serov.

A. L. Babayan – candidate of chemical sciences, Krasnodar Higher Military Aviation School of Pilots named after Hero of the Soviet Union A.K. Serov.

M. V. Kulikov – candidate of chemical sciences, Krasnodar Higher Military Aviation School of Pilots named after Hero of the Soviet Union A.K. Serov.

V. A. Kossoy – Krasnodar Higher Military Aviation School of Pilots named after Hero of the Soviet Union A.K. Serov.

B. S. Varlamov – candidate of chemical sciences, Krasnodar Higher Military Aviation School of Pilots named after Hero of the Soviet Union A.K. Serov.

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

Статья поступила в редакцию 08.02.2021; одобрена после рецензирования 26.02.2021; принята к публикации 01.03.2021.

The article was received by the editorial board on 08 Feb 21; approved after reviewing on 26 Feb 21; accepted for publication on 01 Mar 21.

Научная статья
05.16.09 – Материаловедение (по отраслям) (технические науки)
УДК 541.64
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.024

ВЛИЯНИЕ ВИДА ПОЛИМЕРА НА РАЗМЕРНОСТЬ МИНКОВСКОГО ПРИ ОЦЕНКЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ СВОЙСТВ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Наталья Николаевна Минакова

Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия
minakova@asu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7665-8069>

Аннотация. Рассматривается взаимосвязь «структура–свойства» резистивных полимерных композиционных материалов, применяемых в изделиях для электроустановок, по электронно-микроскопическим снимкам изображения структуры.

Изучались наполненные техническим углеродом каучуки с различными материалами связующей основы. В качестве параметра для оценки вклада полимера в формирование свойств применен фрактальный параметр размерность Минковского. Использована технология обработки изображения структуры с помощью моделей YUV и Otsu.

Экспериментально обоснована зависимость размерности Минковского от вида полимера. Для рассматриваемых материалов она уменьшается от кристаллического каучука в качестве связующей основы к аморфному. Величина размерности Минковского сопоставлялась со значением объемного электрического сопротивления материала, его изменением при набухании в трансформаторном масле, температурным коэффициентом сопротивления. Установлена корреляционная связь между размерностью Минковского и исследуемыми электрофизическими характеристиками материалов. Выявлено, что диапазон изменения параметров различен.

Экспериментально обоснована пригодность фрактального параметра (размерность Минковского) для оценки вклада полимера в формирование величины объемного электрического сопротивления и его стабильности при действии рассматриваемых эксплуатационных факторов. Он может быть использован в качестве оценочного параметра при выборе материала связующей основы.

Ключевые слова: изображение макроструктуры, резистивные полимерные композиционные материалы, наполненные техническим углеродом каучуки, фрактальный анализ, наполненные полимеры, размерность Минковского, объемное электрическое сопротивление, коэффициент нелинейности, температурный коэффициент сопротивления, связующая основа.

Для цитирования: Минакова Н.Н. Влияние вида полимера на размерность Минковского при оценке электропроводящих свойств многокомпонентных материалов // Ползуновский вестник. 2021. № 1. С.173–178 . doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.024.

Original article

IMPACT OF A POLYMER TYPE ON THE MINKOVSKY DIMENSION IN ASSESSMENT OF ELECTRIC CONDUCTIVE PROPERTIES OF MULTICOMPONENT MATERIALS

Natalia N. Minakova

Altai State University, Barnaul, Russia
minakova@asu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7665-8069>

Abstract. *In this paper, the structure–property relationship of resistive composite polymers is analyzed, using electron microscope images is analyzed. Carbon black filled polymers with different binders are studied, and the influence of a polymer type on the conductivity is measured using calculated fractal Minkowsky dimension. Microscope images are processed with YUV and Otsy models.*

It is proved experimentally that the value of the calculated Minkowsky dimension parameter decreases when the binders of studied polymers change from crystalline rubber to amorphous rubber. Also, this calculated parameter is matched with volume electrical resistance in normal conditions, with changes of volume electrical resistance due to swelling of a polymer caused by transformer oil, and with temperature resistance coefficient. It is found out that there is a correlational relationship between the calculated Minkowsky dimension and studied electrophysical properties of polymers, and there are different variation ranges of studied parameters. Experiments prove that calculated fractal Minkowsky dimension can be used to estimate the influence of a polymer type on volume electrical resistance and its stability under various operational factors, as well as the suitability of a specific binder for a composite polymer.

Keywords: *macrostructure image, resistive composite polymers, carbon black filled polymers, fractal analysis, filled polymers, Minkowsky dimension, volume electrical resistance, ratio of nonlinearity, temperature coefficient, binder.*

For citation: Minakova, N.N. (2021). Impact of a polymer type on the Minkovsky dimension in assessment of electric conductive properties of multicomponent materials. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 173-178. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.024

В современных условиях необходимо постоянное совершенствование конструкций. Это требует разработки композиционных материалов с регулируемыми энергосберегающими свойствами [1–3].

Как известно, пространственная структура резистивных полимерных композиционных материалов неоднородна: частицы электропроводящего наполнителя, контактирующие через зазоры различной величины, их разброс от отдельной частицы до агломерата с крепкими физико-химическими связями и т. д. [4, 5]. Это вызывает проблемы подбора компонентов материала при их разработке для практических применений.

Для минимизации временных и иных затрат при конструировании материалов с заданными свойствами используются различные подходы. Один из них – выявление оценочного параметра по микрофотографиям структуры. Изображения структуры резистивных композиционных материалов изучаются, например, с помощью фрактального и тек-

стурного подходов [6–8]. Экспериментально установлено, что взаимосвязь «структура–свойства» зависит от характеристик электропроводящего и связующего компонентов [2, 3]. В работе [9] показана возможность использования размерности Минковского для оценки величины объемного электрического сопротивления наполненных техническим углеродом каучуков в зависимости от концентрации электропроводящего наполнителя.

Концентрация электропроводящего наполнителя существенно влияет на вид электропроводящей сетки. Число электропроводящих цепочек наглядно изменяет изображение макроструктуры материала, что упрощает подбор оценочного параметра при регулировании концентрации электропроводящего наполнителя.

Полимер проявляется на изображении макроструктуры резистивных композиционных материалов значительно меньше, чем концентрация электропроводящего наполнителя. Однако технологические, теплофизиче-

ВЛИЯНИЕ ВИДА ПОЛИМЕРА НА РАЗМЕРНОСТЬ МИНКОВСКОГО ПРИ ОЦЕНКЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ СВОЙСТВ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

ские, механические и другие свойства существенно зависят от вида полимера. Это связано с комплексом процессов в многокомпонентном материале [2, 3, 10]. Вид полимера определяет степень уплотнения наполнителя в связующей основе. Физико-химические процессы также связаны со свойствами связующей основы, которые влияют на формирование межфазных взаимодействий, характер адгезионного взаимодействия, конформационный набор макромолекул у твердой поверхности, молекулярную подвижность, меняющуюся из-за адсорбционного взаимодействия и т. д. [11, 12]. Кристаллический и аморфный полимеры имеют разный характер наполнения техническим углеродом: разный размер зон структуры материала, в которые электропроводящий наполнитель попасть не может и т. д. [11]. Указанные факторы влияют на электрофизические свойства материала [2, 3].

Представляло интерес проверить целесообразность использования размерности Минковского в качестве параметра для оценки вклада полимера в электропроводность резистивного полимерного композиционного материала.

Объектами исследования выбраны наполненные техническим углеродом эластомеры из-за их ресурсосберегающих свойств [2, 11]. В качестве связующей основы использовался бутилкаучук БК-2055, бутадиен-нитрильный каучук СКН-40, бутадиен-метилстирольный СКМС – 30 АРК. Электропроводящий наполнитель – технический углерод П-234. Анализировались микрофотографии материалов при одинаковой концентрации электропроводящего наполнителя (50 весовых частей на 100 весовых частей связующей основы) (рис. 1).

Использован фрактальный анализ [13, 14]. Размерность Минковского рассчитывалась с помощью программы ЭВМ и методики, описанной в [9]. Перевод в бинарное изображение выполнен с применением метода Отсу (Otsu's method), позволяющего применить спектр градаций серого автоматически для каждого изображения с учетом особенности получения микрофотографии [15]. Для выделения сигнала яркости использовалась модель YUV [16].

Сравнивались изображения макроструктуры материалов при одинаковом увеличении. В [9] было показано, что величина размерности Минковского не зависит определяющим образом от выбранного размера окна. Для численных экспериментов далее выбрано окно 50. Проводилась статистическая обработка результатов.

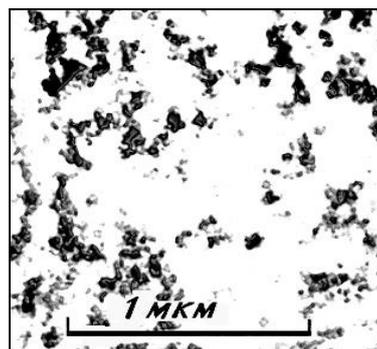


Рисунок 1 – Микрофотография структуры наполненных техническим углеродом каучуков (бутилкаучук БК-2055), электропроводящий компонент П-234

Figure 1 – Micrograph of the structure of rubbers filled with technical carbon (butyl rubber BK-2055), electrically conductive component P-234

Величины размерности Минковского для материалов, отличающихся видом каучука, представлены на рисунке 2. Результаты экспериментов показали, что размерность Минковского меняется в зависимости от вида полимера.

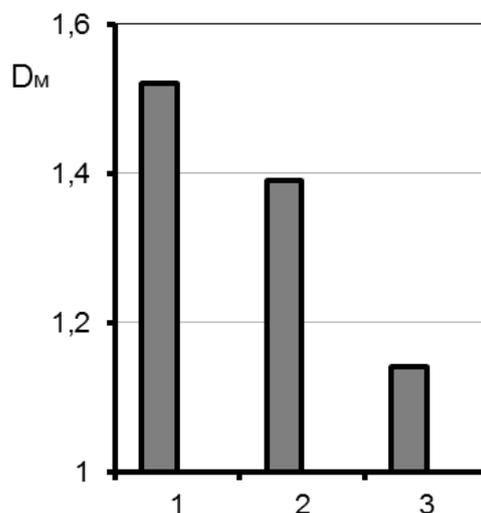


Рисунок 2 – Зависимость размерности Минковского (D_м) от вида каучука: 1 – БК-2055; 2 – СКН-40; 3 – СКМС – 30 АРК

Figure 2 – Dependence of dimension Minkowski (D_м) from the type of rubber: 1 – BK-2055; 2 – SKN-40; 3 – SKMS – 30 ARC

Для изучения взаимосвязи «структура–свойства» значения размерности Минковского (Dm) сопоставлялись со свойствами каучуков (плотность каучука (d), теплостойкость (t), удельная теплоемкость (Cуд), молекулярный вес (M) – таблица 1) и рассматриваемых материалов (таблица 2). Выполнена экспериментальная проверка пригодности размерности Минковского для оценки величины объемного электрического сопротивления и его изменения под действием основных эксплуатационных факторов. Определялись величина удельного объемного электрического сопротивления (ρ_v), его стабильность при нагреве (температурный коэффициент сопротивления ТКС) и набухании в трансформаторном масле $\Delta\rho_v$ ($t = 120$ часов), коэффициент нелинейности.

Таблица 1 – Свойства исследуемых каучуков [17, 18]

Table 1 – Properties of the investigated rubbers [17, 18]

Вид каучука	d, кг/м ³	t, °C	C _{уд} , кДж/(кг*К)	M, тысяч единиц
Нитрильный	960	100–110	1,97	250–350
Бутилкаучук	910	120	1,94	35–85
Бутадинметилстирольный	920	80–100	1,5–1,9	100–150

Параметры измерялись по стандартным методикам [2]. В таблице 2 представлены результаты для материалов с кристаллическим каучуком БК-2055 и аморфным СКМС-30АРК, т. к. они существенно отличаются характером наполнения полимера [2, 19].

Таблица 2 – Электрофизические характеристики наполненных техническим углеродом каучуков

Table 2 – Electrophysical characteristics of rubbers filled with carbon black

Материал связующей основы	lg ρ_v	ТКС, 1/°C	$\Delta \rho_v$, %	α
БК-2055	0,85	0,013	19	0,82
СКМС – 30АРК	3,2	0,019	34	0,61

Результаты экспериментов показали, что существует обратно пропорциональная зависимость между размерностью Минковского Dm и величиной объемного электрического

сопротивления ρ_v . Параметр реагирует на особенности изображения макроструктуры, связанные с видом связующего компонента.

По результатам выполненных экспериментов анализировалась степень изменения изучаемых параметров. На рисунке 3 показана динамика исследуемых параметров при замене аморфного каучука в качестве связующего материала на кристаллический.

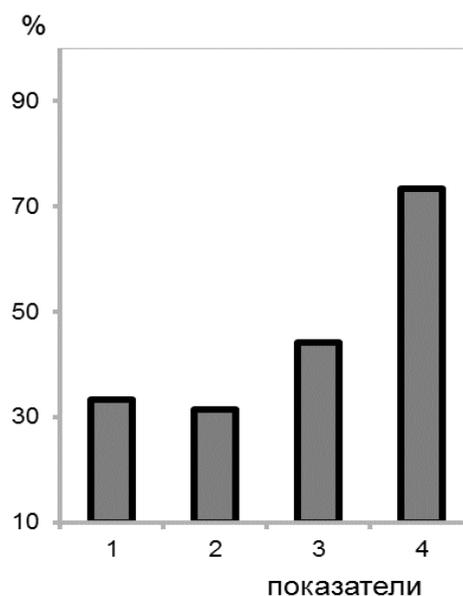


Рисунок 3 – Диапазон изменения параметров при замене аморфного каучука в качестве связующего на кристаллический. Показатели 1 – Dm; 2 – ТКС; 3 – $\Delta\rho_v$; 4 – ρ_v

Figure 3 – Range of parameter variation when replacing amorphous rubber as a binder with a crystalline one.

Indicators 1 – Dm; 2 – TCS; 3 – $\Delta\rho_v$; 4 – ρ_v

Анализ изменения значений ТКС, $\Delta\rho_v$ при набухании и Dm позволяет сделать вывод о том, что параметры изменяются меньше по сравнению с величиной объемного электрического сопротивления (рисунок 3). Диапазон изменения объемного электрического сопротивления значительно превышает диапазон изменения размерности Минковского (рисунок 2) (разница примерно в 2 раза). Можно предположить, что предварительная бинаризация изображения позволяет учесть только часть электропроводящих цепочек. Изменение размера прослойки между электропроводящими частицами способно значительно повлиять на величину объемного электрического сопротивления материала, практически не отражаясь на геометрии макроструктуры. Однако сохраняется закономерность между

ВЛИЯНИЕ ВИДА ПОЛИМЕРА НА РАЗМЕРНОСТЬ МИНКОВСКОГО ПРИ ОЦЕНКЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ СВОЙСТВ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Дм и ρ_v , выявленная в [9] при изучении влияния концентрации наполнителя: при уменьшении объемного электрического сопротивления материала размерность Минковского увеличивается. Степень изменения размерности Минковского при замене материала связующей основы аморфного каучука на кристаллический отличается от диапазона изменения объемного электрического сопротивления при действии эксплуатационных факторов. Однако различие менее существенно, чем для величины ρ_v . Можно предположить следующее. Это связано с тем, что действие эксплуатационных факторов, согласно исследованиям, во многом зависит от степени уплотнения электропроводящего наполнителя в связующей основе, количества зон, в которые наполнитель не попадает, то есть характеристик, которые наглядно проявляются на изображении.

Характеристики полимеров, которые могут влиять на изменение объемного электрического сопротивления при эксплуатационных воздействиях практически одинаковы (таблица 1). Имеет место разница в молекулярном весе. Согласно исследованиям, молекулярные характеристики влияют на реологические свойства полимера, соответственно, характер его наполнения [20, 21].

Выявлено, что размерность Минковского имеет корреляционную связь с коэффициентом нелинейности. Зависимость прямо пропорциональная – коэффициент нелинейности уменьшается при замене кристаллического каучука в качестве связующей основы на аморфный. Диапазон изменения указанных параметров в сравнении с Дм отличается существенно.

Согласно проведенным ранее исследованиям [2, 4], уменьшение коэффициента нелинейности характерно для материалов, у которого увеличивается количество контактов «наполнитель–связующее». Это позволяет считать, что размерность Минковского может служить косвенной характеристикой изменения структуры полимера, связанной с числом контактов «электропроводящий наполнитель–связующая основа». Например, для саморегулирующихся нагревателей, где количество контактов через связующую основу должно превышать количество непосредственных контактов между частицами электропроводящего наполнителя, можно рекомендовать выбирать полимер (при прочих равных условиях), у которых размерность Минковского меньше.

Представленные в работе результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. Фрактальный параметр (размерность Минковского), полученный на изображениях макроструктуры, наполненных техническим углеродом каучуков, изменяется в зависимости от вида материала связующей основы.

2. Размерность Минковского и объемное электрическое сопротивление материалов с разными каучуками в качестве связующей основы имеют обратно пропорциональную зависимость.

3. При замене аморфного каучука в качестве связующей основы на кристаллический объемное электрическое сопротивление меняется значительно больше, чем размерность Минковского и изменение объемного электрического сопротивления при рассмотренных эксплуатационных воздействиях.

4. Для повышения стабильности объемного электрического сопротивления при высоких температурах и агрессивных средах между композитами, отличающимися видом материала связующей основы, целесообразно выбирать материала с более высоким значением размерности Минковского.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дисперсно-наполненные полимерные композиты технического и медицинского назначения / Б.А. Люкшин (и др.); отв. ред. А.В. Герасимов. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2017. – 311 с.
2. Гуль В.Е., Шенфиль Л.З. Электропроводящие полимерные композиции. – М.: Химия, 1984. – 240 с.
3. Крикоров, В.С. Электропроводящие полимерные материалы / В.С. Крикоров, Л.А. Колмакова. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 176 с.
4. Minakova N.N., Ushakov V.Ya. Stochastic and deterministic modeling of spatially oriented structures in dispersion-filled polymers // *Vysokomolekulyarnye soedineniya. Seriya A.* – 2000. – Т. 42. – № 9. – С. 1552–1553.
5. Минакова Н.Н. Моделирование процессов эксплуатационных воздействий для дисперсно-наполненных полимеров // *Известия высших учебных заведений. Физика.* – 2000. – Т. 43. – № 1. – С. 42–45.
6. Козлов Г.В. Структура и свойства дисперсно-наполненных полимерных композитов: фрактальный анализ / Козлов Г.В., Яновский Ю.Г., Карнет Ю.Н. – Москва: Альянстрансатом, 2008. – 363 с.
7. Козлов Г.В., Липатов Ю.С. Изменение структуры полимерной матрицы в дисперсно-наполненных композитах: фрактальная трактовка // *Механика композитных материалов.* – 2004. – Т. 40. – № 6. – С. 827–834.
8. Минакова Н.Н., Ушаков В.Я. Текстурированный анализ дисперсной структуры композитных эластомеров с модифицированным углеродным наполнителем // *Известия высших учебных заведений. Физика.* – 2002. – Т. 45. – № 2. – С. 80–83.
9. Минакова Н.Н. Текстурированно-фрактальная оценка макроструктуры наполненных полимеров при изменении концентрации проводящего компонента // *Ползуновский вестник.* – 2019. – № 1. – С. 176–180. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2019.01.032

10. Тарер А.А. Физико-химия полимеров. – М. : Научный мир, 2007. – 576 с.
11. Липатов Ю.С. Физико-химические основы наполнения полимеров. – М. : Химия, 1991. – 260 с.
12. Алоев В.З., Козлов Г.В. Физика ориентационных явлений в полимерных материалах. – Нальчик : Полиграфсервис. – Т. 2002. – 288 с.
13. Козлов Г.В., Яновский Ю.Г., Липатов Ю.С. Фрактальный анализ структуры и свойств межфазных слоев в дисперсно-наполненных полимерных композициях // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2002. – Т. 8. – № 1. – С. 111–149.
14. Кроновер Р.М. Фракталы и Хаос в динамических системах : Основы теории. – М. : Постмаркет, 2000. – 352 с.
15. URL: <https://ssl4799.websiteseguro.com/swge5/PROCEEDINGS/PDF/CBA2016-0853.pdf>. [Электронный ресурс]. (Дата обращения 21.01.2021).
16. URL : <http://www.labbookpages.co.uk/software/imgProc/otsuThreshold.html>. [Электронный ресурс]. (Дата обращения 21.01.2021).
17. Энциклопедия полимеров. В 3 т. Т.1 / под ред. В. А. Каргина. – М. : Сов. энциклопедия, 1972. – 1196 с.
18. URL : <https://www.chem21.info/info/312232/> [Электронный ресурс]. (Дата обращения 21.01.2021).
19. Усиление эластомеров : сб. ст. / Под ред. Дж. Крауса. – М. : Химия, 1968. – 484 с.
20. Виноградов Г.В., Малкин А.Я. Реология полимеров. – М., Химия, 1977. – 439 с.
21. Вострокнутов, Е.Г. Реологические основы переработки эластомеров / Е.Г. Вострокнутов, Г.В. Виноградов. – М. : Химия. – 1988. – 198 с.

Информация об авторах

Н. Н. Минакова – доктор физико-математических наук, профессор Алтайского государственного университета.

REFERENCES

1. Lyukshin, B.A. & others. (2017). *Dispersed-filled polymer composites for technical and medical purposes*. A.V., Gerasimov [Ed.]. Novosibirsk : Publishing house of the SB RAS. (In Russ.).
2. Gul, V.E. & Shenfil L.Z. (1984). *Electrically conductive polymer compositions*. Moscow: Chemistry. (In Russ.).
3. Krikorov, B.C. & Kolmakova, L.A. (1984). *Electrically conductive polymeric materials*. Moscow: Energoatomizdat. (In Russ.).
4. Minakova, N.N. & Ushakov V.Ya. (2000). Stochastic and deterministic modeling of spatially oriented structures in dispersion-filled polymers. *Vysokomolekulyarnye soedineniya, Seriya A*. 42(9), 1552–1553. (In Russ.).
5. Minakova, N.N. (2000). Modeling of processes of operational influences for dispersed – filled polymers. *Vestnik of higher educational institutions of physics*, 43(1), 42–45. (In Russ.).
6. Kozlov, G.V., Yanovskiy, Yu.G. & Kamet, Yu.N.

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

Статья поступила в редакцию 04.02.2021; одобрена после рецензирования 26.02.2021; принята к публикации 03.03.2021.

The article was received by the editorial board on 04 Feb 21; approved after reviewing on 26 Feb 21; accepted for publication on 03 Mar 21.

(2008). *Structure and properties of dispersion-filled polymer composites: fractal analysis*. Moscow : Alyanstransatom. (In Russ.).

7. Kozlov G.V. & Lipatov Yu.S. (2004). Changes in the structure of the polymer matrix in dispersed-filled composites: fractal interpretation. *Mechanics of composite materials*, 40(6), 827–834.

8. Minakova, N.N. & Ushakov, V.Ya. (2002). Texture analysis of the dispersed structure of composite elastomers with a modified carbon filler. *Vestnik of higher educational institutions of physics*, 45(2), 80–83.

9. Minakova, N.N. (2019). Texture-fractal assessment of the macrostructure of filled polymers with a change in the concentration of the conductive component. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 176–180. (In Russ.). DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2019.01.032.

10. Tager, A.A. (2007). *Physical chemistry of polymers*. Moscow.: Scientific world. (In Russ.).

11. Lipatov & Yu.S. (1991). *Physicochemical bases of polymer filling*. Moscow: Chemistry.

12. Aloev, V.Z. & Kozlov, G.V. (2002). *Physics of orientation phenomena in polymeric materials*. Nalchik : Polygraphservice. (In Russ.).

13. Kozlov, G.V., Yanovskiy, Yu.G. & Lipatov, Yu.S. (2002). Fractal analysis of the structure and properties of interphase layers in dispersed-filled polymer composites. *Mechanics of composite materials and structures*, 8(1), 111–149. (In Russ.).

14. Kronover, R.M. (2000). *Fractals and Chaos in Dynamical Systems : Fundamentals of Theory*. Moscow.: Postmarket. (In Russ.).

15. 11-й Innovation and Entrepreneurship (ECIE). (2016). Retrieved from <https://ssl4799.websiteseguro.com/swge5/PROCEEDINGS/PDF/CBA2016-0853.pdf>.

16. The Lab Book Pages. An online collection of electronics information. Retrieved from <http://www.labbookpages.co.uk/software/imgProc/otsuThreshold.html>.

17. *Encyclopedia of Polymers. In 3 volumes*. (1972). Vol. 1. V.A. Kargin [Ed.]. Moscow.: Sov. encyclopedia. (In Russ.).

18. Chemist's Handbook 21. Chemistry and chemical technology Retrieved from <https://www.chem21.info/info/312232/>. (In Russ.).

19. Strengthening of elastomers: collection of articles. (1968). J. Kraus [Ed.]. Moscow.: Chemistry. (In Russ.).

20. Vinogradov, G.V. & Malkin, A.Ya. (1977). *Polymer rheology*. Moscow.: Chemistry. (In Russ.).

21. Vostroknutov, E.G. & Vinogradov, G.V. (1988). *Rheological bases of elastomer processing* Moscow.: Chemistry. (In Russ.).

Information about the authors

N. N. Minakova – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of Altai State University.

Научная статья
05.16.09 Материаловедение
УДК 620.22:678.686
doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.025

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ В ПРОЦЕССЕ ОТВЕРЖДЕНИЯ АМИННЫМ ОТВЕРДИТЕЛЕМ

Снежана Александровна Хапёрских¹, Елена Сергеевна Ананьева²,
Алеся Андреевна Коркина³

^{1,2,3} Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

¹ snezhana_v@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2204-3469>

² eleana2004@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5768-3912>

³ alesia.markova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4887-1679>

Аннотация. Кинетика процесса отверждения эпоксидных смол различна. Эта зависимость выражена в стехиометрическом отверждении аминных отвердителей и эпоксидных смол. Авторами был проведен анализ термических кривых эпоксидно-диановой смолы ЭД-22 с отвердителем ПЭПА разной концентрации без наполнителей, с целью определения временного интервала при использовании смолы в качестве основы полимерного покрытия для продукции сельхозиндустрии.

Метод термического анализа в исследовании температурного интервала стеклования композиции основан на регистрации изменений температур нагрева и охлаждения композиции во времени. Проведен анализ механизмов гелеобразования и стеклования смолы. В ходе анализа полученных кривых установлено, что процесс стеклования ЭД-22 и ПЭПА, при любой концентрации отвердителя, состоит из трех стадий. Каждый этап (стадия) характеризуется своей скоростью гелеобразования, а также температурой, при которой эта скорость максимальна. Вторая стадия стеклования является самой быстротечной, как по времени, так и по диапазону температур. Самая продолжительная стадия – третья, которая является завершающей стадией стеклования. На основании полученных термокривых даны рекомендации по использованию эпоксидно-диановой смолы в технологическом процессе производства при нанесении покрытий. Стоит отметить, что полученные данные термического анализа не учитывают модифицирование композиции. Результатом чего может стать смещение термических кривых как в область более высоких температур, так и в область сокращения/увеличения временного интервала протеканию реакции.

Ключевые слова: эпоксидно-диановая смола, ЭД-22, полиэтиленполиамин, ПЭПА, полимерный материал, термический анализ, термопара, стеклование, гелеобразование, экзотермическая реакция, структурообразование.

Для цитирования: Хапёрских С.А., Ананьева Е.С., Коркина А.А. Особенности структурообразования эпоксидной смолы в процессе отверждения аминным отвердителем // Ползуновский вестник. 2021. №1. С. 179-186. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.025.

Original article

STRUCTURE FORMATION FEATURES OF EPOXY RESIN DURING CURE PROCESS WITH AMINE HARDENER

Snezhana A. Khaperskikh¹, Elena S. Anan'eva², Alesya A. Korkina³

^{1,2,3} Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

¹ snezhana_v@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2204-3469>

² eleana2004@mail.ru, [https://orcid.org/0000- https://orcid.org/0000-0001-5768-3912](https://orcid.org/0000-https://orcid.org/0000-0001-5768-3912)

³alesia.markova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4887-1679>

Annotation. *The kinetics of the condensation process of epoxy resins is different. This dependence is expressed in the stoichiometric cure of amine hardeners and epoxy resins. The analysis of thermal curves of epoxy-diane resin ED-22 with hardener PEPA of different concentrations without fillers was carried out in order to determine the time interval when using the resin as the base of the polymer coating for agricultural products. The method of thermal analysis in the study of the glass transition temperature range of the composition is based on recording changes in the heating and cooling temperatures of the composition over time. The analysis of the mechanisms of gelation and glass transition of the resin is carried out. During the analysis of the obtained curves, it was found that the glass transition process for ED-22 and PEPA, at any concentration of the hardener, consists of three stages. Each stage (stage) is characterized by its own rate of gelation, as well as the temperature at which this rate is maximum. The second stage of glass transition is the fastest, both in time and temperature range. The longest stage is the third, which is the final glass transition stage. On the basis of the obtained thermal curves, recommendations are given on the use of epoxy-diane resin in the technological process of production when applying coatings. It should be noted that the obtained thermal analysis data do not take into account the modification of the composition, as a result of that, it may be a shift of the thermal curves both to the region of higher temperatures and to the region of shortening / increasing the time interval for the reaction.*

Keywords: epoxy-diane resin, ED-22, polyethylene polyamine, PEPA, polymer material, thermal analysis, thermocouple, glass transition, gelation, exothermic reaction, structure formation.

For citation: Khaperskikh, S. A., Anan'eva, E. S. & Korkina, A. A. (2021). Structure formation features of epoxy resin during cure process with amine hardener. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 179-186. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.025

Эпоксидная смола принадлежит к олигомерам, является сложным органическим соединением, состоящим из эпоксидных групп. Использование связующего на основе эпоксидно-диановых смол в качестве полимерного покрытия должно обеспечивать необходимые реологические свойства, обладать низкими температурами стеклования и достаточной растекаемостью [1]. Кроме указанных свойств большое значение имеет и время нанесения полимерного связующего на поверхность металла в качестве покрытия. Недостаток времени способствует преждевременному отверждению смолы. То есть использование слишком большой доли отвердителя в смоле может привести к быстрому протеканию реакции полимеризации, в результате чего связующее перейдет в стадию стеклования еще до его нанесения на поверхность. И наоборот, слиш-

ком малая доля отвердителя будет способствовать долгому протеканию реакции полимеризации и увеличению временного интервала до стадии стеклования связующего.

Именно поэтому определение оптимальной концентрации отвердителя является первоочередной задачей.

Группа авторов [1] проводила исследование термической деструкции полиэфирной смолы, модифицированной канифолью методами дифференциально-сканирующей калориметрии и термогравиметрии. Результатом чего выявлена термоустойчивость композиции до 200 °С, после чего наступает термическая деструкция, протекающая в несколько этапов. Кроме того, показано влияние разложения канифоли на процесс деструкции полиэфира.

Другая группа авторов [2] исследовала процесс отверждения эпоксидной смолы ЭД-

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ В ПРОЦЕССЕ ОТВЕРЖДЕНИЯ АМИННЫМ ОТВЕРДИТЕЛЕМ

20 методом импедансных измерений. В результате выявлено, что данный метод позволяет контролировать кинетику полимеризации эпоксидной смолы, электрические и физико-механические свойства полимера.

Зиновьева Е.Г. в своей статье [3] проводит исследования кинетических закономерностей реакций катионной полимеризации смолы ЭД-20 комплексами кислот, который в свою очередь позволяет регулировать свойства полимера.

Для определения временного интервала одной из стадий технологического процесса при нанесении полимерного покрытия на металлическую основу, было решено произвести расчет соотношения отвердителя и смолы на основе эквимольного соотношения эквивалентов и исследовать термические кривые реакции полимеризации смолы ЭД-22 с разной долей отвердителя ПЭПА. Это в дальнейшем поможет выбрать не только долю отвердителя,

но и обеспечить оптимальный режим технологического процесса.

В данной работе исследовались образцы на основе эпоксидно-диановой смолы ЭД-22 и отвердителя ПЭПА с разной концентрацией – 10-20% от объема.

Анализ результатов испытаний показал, что наиболее эффективной оказалась проба «ЭД-22 - ПЭПА» 100:10 соответственно, которая удовлетворяет большинству параметров, таких как оптимальное время гелеобразования, оптимальная скорость нагрева проб, незначительное изменение температур при экзотермических реакциях.

Объекты и методы исследования

Термический анализ образцов эпоксидно-диановой смолы ЭД-22 с отвердителем ПЭПА, свойства которых представлены в таблице 1, проведен с помощью мультиметра МС и термопары «хромель-копель», на основе ГОСТ 21970-76 [4].

Таблица 1 – Характеристика компонентов [5, 6, 7]

Table 1 – Characteristics of components [5, 6, 7]

Характеристика	Значение	
	ЭД-22	ПЭПА
Внешний вид	Низковязкая, прозрачная	Светло-желтый
Плотность, г/см ³	1,166	0,956
Динамическая вязкость, Па·с	8-12	0,25
Эпоксидный/аминный эквивалент, г/эquiv	195-183	30
Время желатинизации, ч.	Не менее 18	1,5

В емкость помещали 20 г смолы и 10-20 % от объема смолы отвердителя ПЭПА (рисунок 1). Соединение смолы с отвердителем производилось при температуре 22-23 °С. После чего композицию перемешивали до полу-

чения однородного состава в течении 2-3 минут. При взаимодействии смолы и отвердителя выделяется тепло, а температура экзотермической реакции может достигать свыше 200 °С.

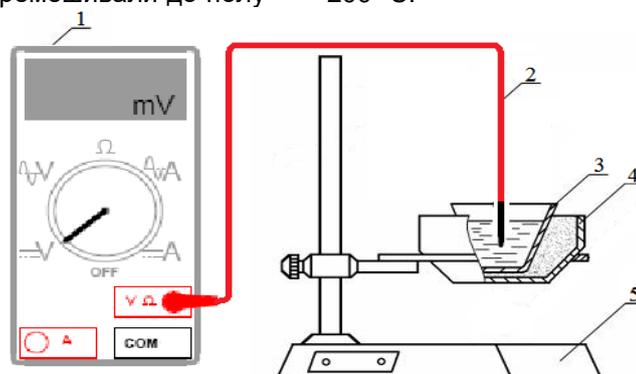


Рисунок 1 – Схема проведения испытаний:
1 – мультиметр; 2 – термопара «хромель-копель»; 3 – тигель со смолой;
4 – чаша; 5 – кронштейн

Figure 1 - Testing scheme:
1 - multimeter; 2 - chromel-copel thermocouple; 3 - crucible with resin; 4 - bowl; 5 - bracket

Далее в пробу помещали термопару так, чтобы спай термопары находился строго по оси на уровне половины столба смолы и не задевал стенки емкости. Провода термопары подключали к мультиметру, одновременно фиксируя время протекания реакции. Испытания проводят до тех пор, пока температура отверждаемой смолы не достигнет максимального значения и не начнет снижаться.

Результаты исследований

Химическая структура отвердителя для эпоксидных смол различна, также, как и области их применения. Необходимо принять во внимание, что для отверждения различных типов систем необходимо установить оптимальное соотношение отвердителя и смолы. Один из используемых механизмов реакции холодного отверждения при использовании аминов предполагает эквимольное соотношение компонентов. Исходя из этого, определяется количество эпоксидных групп и активного водорода (грамм вещества на эквивалент). Таким образом, образуется взаимо-

действие ровно в один эквивалент эпоксидных групп и отвердителя, с образованием полимерной сетки, не содержащей непрореагировавших эпоксидных или аминогрупп.

Произведем расчет количества отвердителя, необходимого на 100 г смолы.

$$m_o = \frac{H - \text{эквивалент}}{\text{Эпоксидный эквивалент}} \cdot 100\% = \frac{30}{195} \cdot 100\% = 15,4 \text{ г}, \quad (1)$$

где H-эквивалент – величина аминного эквивалента отвердителя, г/экв.

Таким образом, для стехиометрического отверждения 100 г эпоксидно-диановой смолы марки ЭД-22 необходимо 15,4 г отвердителя ПЭПА.

Исследование процесса стеклования смолы и отвердителя происходило непосредственно в неотвержденном состоянии проб, сразу после замешивания, а его длительность контролировалась температурой композиций.

Для оценки доли отвердителя ПЭПА в составе ЭД-22 проведено исследование температуры процесса отверждения образцов связующего, данные представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Реакционная активность образцов на основе ЭД-22 и ПЭПА методом термического анализа

Table 2 - Reaction activity of samples based on ED-22 and PEPA by thermal analysis

№ п/п	Образец	Температурный интервал пика, °С			Время желатинизации, мин
		Tн	Tм	Tк	
1	100:10	20	40	82	90
2	100:11		38	105	79
3	100:12		35	128	61
4	100:20		31	188	38

Примечание: Tн – температура начала процесса отверждения; Tм – температура начала гелеобразования; Tк – конечная температура протекания реакции.

Процесс структурообразования эпоксидных смол при отверждении протекает с образованием трехмерной сетки, формирование которой сопровождается экзотермическими эффектами. Регистрация тепловых эффектов при химической реакции полимеризации осуществлялась на основании измерений в динамике изменений температуры.

На рисунке 2 графически представлены экзотермические кривые отверждения эпоксидной смолы с различной долей отвердителя ПЭПА.

В ходе анализа полученных диаграмм, было выявлено, что процесс термического стеклования смолы ЭД-22 состоит из трех стадий. Каждую стадию можно охарактеризовать своей скоростью протекания экзотермической

реакции и температурой, при которой эта скорость максимальна. Первая стадия – это начало реакции, сразу после смешивания и длится она до тех пор, пока зависимость является линейной. На данном участке графика скорость экзотермической реакции постоянна. Вторая стадия самая короткая как по времени, так и по диапазону температур. На этой стадии происходит рост скорости нагрева связующего. Третья стадия – завершает процесс стеклования. По времени она длится не долго, но обладает самой большой скоростью нагрева связующего. Здесь наблюдается резкий скачок роста температуры за короткий промежуток времени.

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ
В ПРОЦЕССЕ ОТВЕРЖДЕНИЯ АМИННЫМ ОТВЕРДИТЕЛЕМ

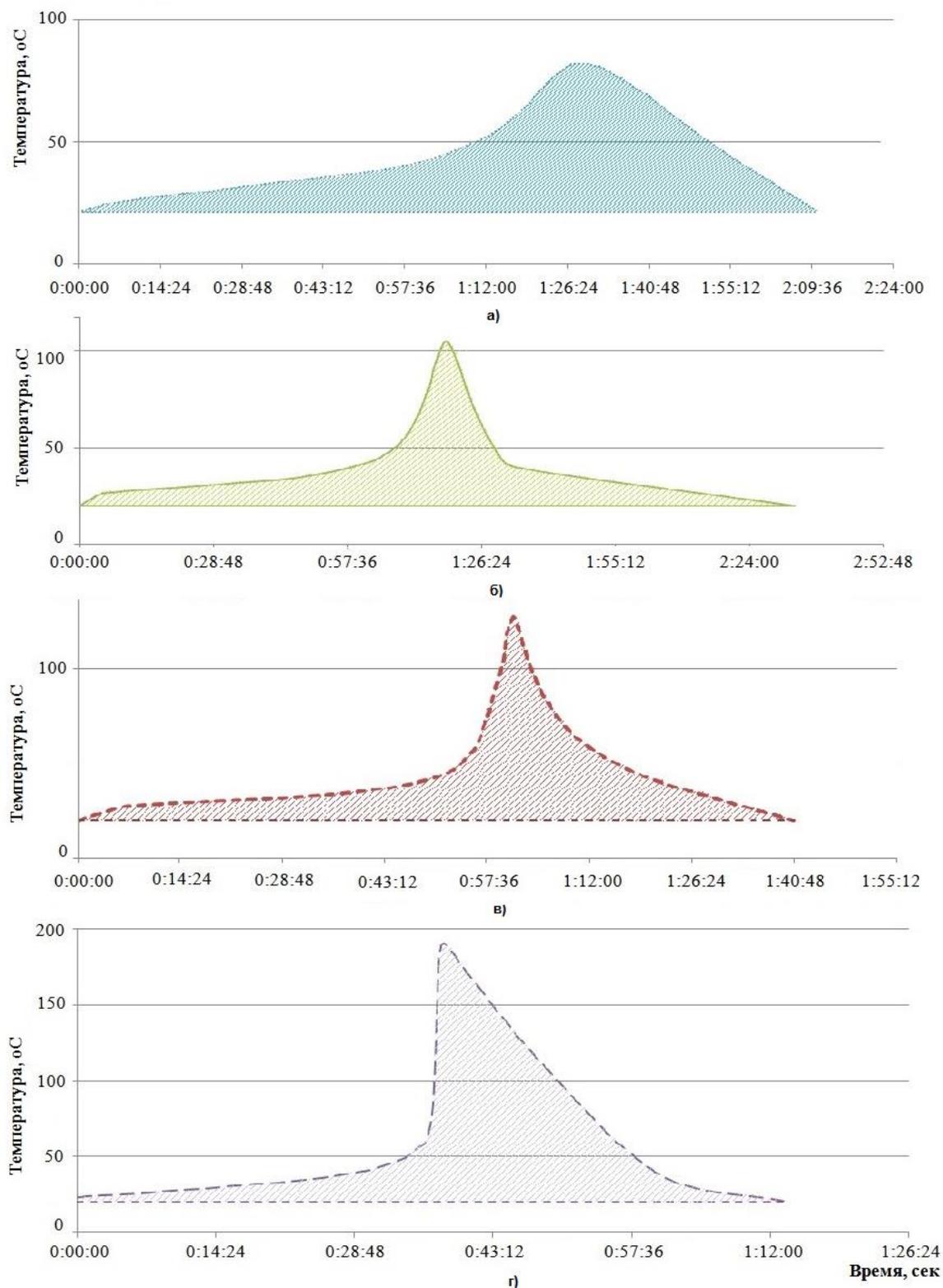


Рисунок 2 – Экзотермические кривые отверждения эпокси-диановой смолы ЭД-22 с различной долей отвердителя ПЭПА: а) 10%; б) 11%; в) 12%; г) 20%

Figure 2 - Exothermic curves of curing epoxy-diane resin ED-22 with different proportions of PEPA hardener: a) 10%; b) 11%; at 12%; d) 20%

Доля отвердителя регулирует скорость протекания реакции отверждения. Начало реакции обусловлено протеканием реакции со скоростью 0,3°C/мин для образцов № 1-3, и 0,6 °C для образца 4. Вторая стадия (гелеобразования) происходит с повышением скорости протекания реакции, ее рост составил от 30% до 300 %. Образец №4 обладает высокой каталитической активностью, а процесс стеклования протекает с повышением скорости протекания реакции с выделением большого

количества энергии (теплоты). Использование данного образца сокращает время в технологическом процессе нанесения полимерного покрытия, что может способствовать преждевременному отверждению композиции.

Совмещение экзотермических кривых позволяет провести их количественный анализ со смещением температуры стеклования, температурного и временного интервала отверждения (рисунок 4).

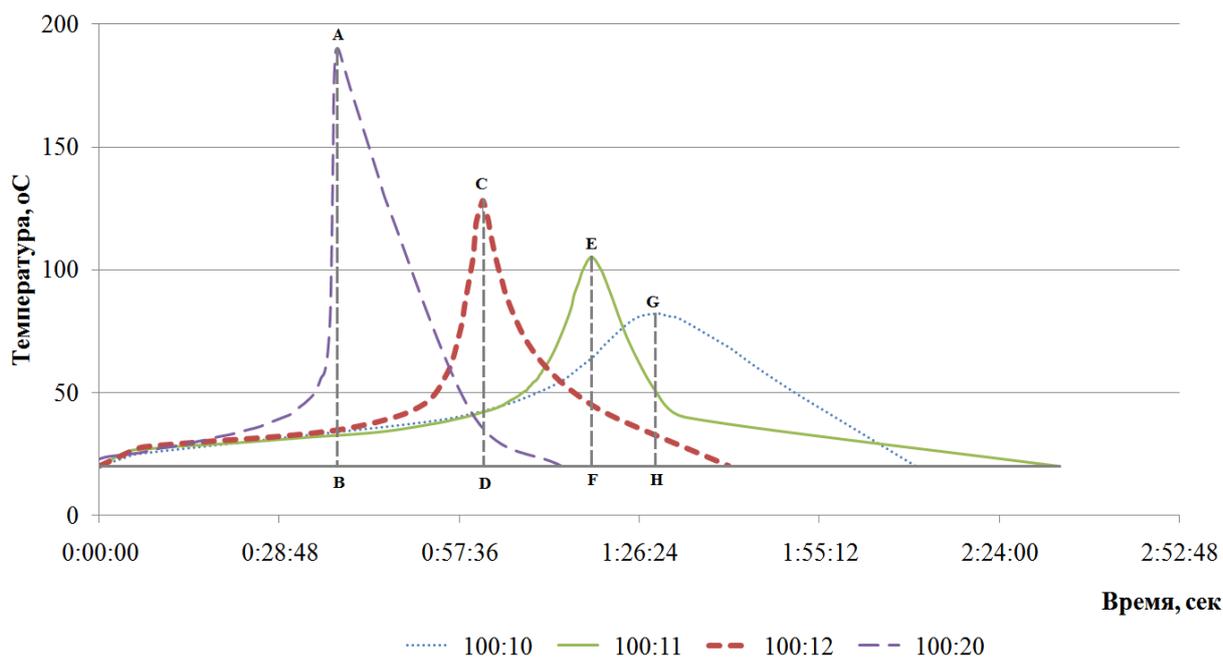


Рисунок 3 – Совмещение графиков экзотермических кривых отверждения смолы ЭД-22 и ПЭПА

Figure 3 – Combination of graphs exothermic curves of curing resin ED-22 and PEPA

Площадь экзотермического пика кривой термического анализа (или его высота – в данном случае отрезки АВ, CD, EF, GH), полученного выделением тепла, пропорциональна изменению энтальпии при различных процессах в образце и его массе, что способствует определению теплоты реакции, и пропорциональна величине теплового эффекта. Анализ геометрической формы пиков на кривой позволяют определить физико-химическую природу и провести количественную оценку явлений, возникающих в образце.

Сравнительные характеристики параметров отверждения образцов свидетельствуют о значительной разнице в значениях температур начала реакции (от 20 °C – для всех образцов) и максимальных температур отверждения (от 82 °C для соотношения 100:10; до

188 °C – для 100:20). Экзотермический эффект с максимумом температуры связан со стеклованием смолы. Это позволяет сделать вывод о достаточно низкой реакционной активности отвердителя ПЭПА в соотношении 100:10 и более высокой в соотношении 100:20.

Используя максимум полученных пиков термической диаграммы (рисунок 3), представим полиномиальную зависимость посредством рисунка 4.

Исходя из соотношения(1) и рисунка 4, получен температурный пик экзотермического отверждения ЭД-22 и ПЭПА в соотношении 100 г и 15,4 г соответственно, равный 177 °C.

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ В ПРОЦЕССЕ ОТВЕРЖДЕНИЯ АМИНЫМ ОТВЕРДИТЕЛЕМ

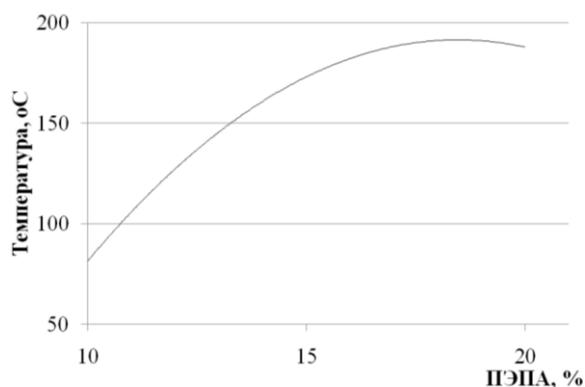


Рисунок 4 – Полиномиальная зависимость максимум температурных пиков экзотермических кривых ЭД-22 и ПЭПА

Figure 4— Polynomial dependence of the maximum temperature peaks of the exothermic curves ED-22 and PEPA

Рост доли отвердителя увеличивает реакционную способность смолы (повышает температуру стеклования). Разработка же полимерного покрытия проводится при холодном (или теплом) отверждении. Иными словами, анализируя вышеизложенный материал, концентрация амина в пределах 10-11 %, обеспечит оптимальное протекание экзотермической реакции стеклования смолы.

Заключение

Проведенные исследования показали, что при создании покрытия на основе полимерного связующего, важным параметром является время гелеобразования и температурный интервал стеклования связующего. Именно поэтому были проанализированы время желатинизации и температура протекания реакции, проведен термический анализ отверждения смолы ЭД-22 с отвердителем ПЭПА, доля которого составила 10, 11, 12 и 20%.

Используя эквимолярное соотношение компонентов, выяснено, что для стехиометрического отверждения 100 г эпоксиодно-диановой смолы марки ЭД-22 необходимо 15,4 г отвердителя ПЭПА. Но, анализируя экзотермические кривые и зависимость максимумов температурных пиков данных кривых отверждения смолы, авторы пришли к выводу, что обеспечение необходимыми эксплуатационными и технологическими характеристиками материала доля отвердителя при холодном/теплом отверждении не должна превышать 10-11%.

Таким образом, рост доли отвердителя сокращает временной и увеличивает температурный интервал стеклования ЭД-22 (смещает температуру стеклования в область повышенных температур).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полежаева Н.И. Термическая деструкция полиэфирной смолы, модифицированной канифолью / Н.И. Полежаева, Л.С. Тарасова // Химия растительного сырья // Сибирский государственный технологический университет. 2010. №4. - С. 161-166.
2. Москвичев А.Н. Метод импедансных измерений для исследования процесса отверждения эпоксидной смолы ЭД-20 // А.Н. Москвичев, А.А. Москвичев, М.С. Федеосеев // Журнал прикладной химии, 2008. Т. 81. Вып. 2. – С. 291-294.
3. Зиновьева Е.Г. Исследование кинетики отверждения эпоксидной смолы ЭД-20 триалкил(арил)фосфатными комплексами кислот Льюиса и триэтилентетраминоном / Е.Г. Зиновьева, В.А. Ефимов, Н.И. Кольцов // Пластические массы, №6. 2011. – С. 22-24.
4. ГОСТ 21970-2015 (ISO 584:1982). Смолы полиэфирные ненасыщенные. Метод определения максимальной температуры в процессе отверждения: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 12 ноября 2015 г. N 82-П): - дата введения 2017-01-01. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200127490>. (дата обращения: 04.01.2021). – Текст электронный.
5. ГОСТ Р 56211-2014 Смолы эпоксиоднодиановые неотвержденные. Технические условия: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 11 ноября 2014 г. N 1500-ст: - дата введения 01.01.2016. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200115430>. (дата обращения: 04.01.2021). – Текст электронный.
6. ТУ 2413-066-18777143-2015 Полиэтиленполиамины технические: – дата введения 18 мая 2015. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/437182010>. (дата обращения: 04.01.2021). – Текст электронный.
7. Бобылев В.А. Отвердители для эпоксидных смол // Композитный мир. №4, 2006 (07) – С. 20-24.

Информация об авторах

С. А. Халёрских – ассистент, аспирант 1 курса кафедры современных специальных материалов Алтайского государственного технического университета им. И. И. Ползунова

Е. С. Ананьева – кандидат технических наук, доцент кафедры современных специальных материалов Алтайского государственного технического университета им. И. И. Ползунова

А. А. Коркина - аспирант 3 курса кафедры современных специальных материалов Алтайского государственного технического университета им. И. И. Ползунова

REFERENCES

1 Polezhaeva, N.I. & Tarasova, L.S. (2010). Thermal destruction of polyester resin modified with rosin. *Chemistry of vegetable raw materials*, (4), 161-166. (In Russ.).

2 Moskvichev, A.N., Moskvichev, A.A. & Fedoseev M.S. (2008). Method of impedance measurements for studying the curing process of epoxy resin ED-20. *Journal of Applied Chemistry*, 81(2), 291-294. (In Russ.).

3 Zinovyeva, E.G., Efimov, V.A. & Koltsov, N.I. (2011). Study of the kinetics of curing of epoxy resin ED-20 with trialkyl (aryl) phosphate complexes of Lewis acids and triethylenetetramine. *Plastics*, (6), 22-24. (In Russ.).

4 Interstate council for standardization, metrology and certification. (1976). Unsaturated polyester resins. Method for determining the maximum temperature during curing. *HOST 21970-76*. from 01.07.1977. Retrieved from <http://docs.cntd.ru/document/gost-21970-76>. (In Russ.).

5 Interstate council for standardization, metrology and certification. (2014). Uncured epoxy-diane resins. Technical conditions. *HOST R 56211-2014*. from 02.03.2015. Retrieved from <http://docs.cntd.ru/document/1200115430>. (In Russ.).

6 Polyethylenpolyamines. (2015). *TU 2413-066-18777143-2015 from 18 May 15*. Retrieved from <http://docs.cntd.ru/document/437182010>. (In Russ.).

7 Bobylev, V.A. (2006). Hardeners for epoxy resins. *Composite World*, (4), 20-24. (In Russ.).

Information about the authors

S. A. Khaperskikh - Assistant, 1st year postgraduate student of the Department of Modern Special Materials, Polzunov Altai State Technical University.

E. S. Anan'eva - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Modern Special Materials, Polzunov Altai State Technical University.

A. A. Korkina – 3-year postgraduate student of the Department of Modern Special Materials, 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 22.02.2021; одобрена после рецензирования 12.03.2021; принята к публикации 17.03.2021.

The article was received by the editorial board on 22 Feb 21; approved after reviewing on 12 Mar 21; accepted for publication on 17 Mar 21.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Ананьева Е.С.	179	Кудряшова О.А.	74
Андриевская Д.В.	34	Кузьмина С.С.	51
Афаньков А.Н.	154	Куликов М.В.	161
Бабаян А.Л.	161	Лейтес Е.А.	59, 135
Бердыченко А.А.	147	Лукин А.А.	84
Беушеев А.А.	154	Матвеева Т.А.	99
Бец Ю.А.	84	Мельникова А.А.	99
Бочкарева В.О.	113	Минакова Н.Н.	173
Булькран М.С.	91	Москаленко Н.Ю.	74
Вайтанис М.А.	4	Мурадова М.Б.	91
Варламов Б.С.	161	Мышалова О.М.	66
Ващук Е.С.	141	Надточий Л.А.	91
Ганиман С.П.	135	Наумова Н.Л.	84
Горелова О.М.	121	Некрасов М.С.	121
Громов В.Е.	141	Ободеева О.Н.	11, 34
Гуринович Г.В.	66	Осинцев К.А.	141
Гурьев М.А.	147	Панков В.П.	161
Гущина Я.И.	113	Панченко И.А.	141
Дубинина Е.В.	11	Патракова И.С.	66
Егорова Е.Ю.	20, 51	Патшина М.В.	66
Егорова Л.С.	59, 135	Проскура А.В.	91
Захаров М.А.	34	Резниченко И.Ю.	99, 113
Захарова А.С.	20, 51	Севостьянова Е.М.	11
Иванов С.Г.	147	Серегин С.А.	66
Индюшкин И.В.	135	Смирнов С.О.	106
Козубаева Л.А.	27	Сомин В.А.	121, 131
Колесникова Т.И.	135	Тарасов А.В.	44
Комарова Л.Ф.	121, 131	Тарасов В.П.	44
Коновалов С.В.	141	Темерев С.В.	59, 135
Коньшин В.В.	154	Тихонов С.Л.	74
Коренева Н.В.	154	Тихонова Н.В.	74
Коркина А.А.	179	Тсиге К.Н.	91
Королев А.А.	106	Ульянова Е.В.	34
Коссой В.А.	161	Фазуллина О.Ф.	106
Крахмалев В.А.	154	Хапёрских С.А.	179
Крикунова Л.Н.	11	Чигаев И.Г.	125
Кудряшов Л.С.	74		

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 приводятся после списка литературы, с предшествующими словами «Информация об авторах» - инициалы, фамилия — учёная степень, звание, место работы, телефон);
- 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

Научная статья

05.18.04 Технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств (технические науки)

УДК 533.9.07

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.001

ЗАГОЛОВОК СТАТЬИ (max 10 -12 СЛОВ, АББРЕВИАТУРЫ НЕЛЬЗЯ)

**Имя Отчество Фамилия ¹, Имя Отчество Фамилия ²,
Имя Отчество Фамилия ³, Имя Отчество Фамилия ⁴,
Имя Отчество Фамилия ⁵**

^{1, 2, 3} Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

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

² polz_journal@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4863-0000>

³ hghgh@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5841-0000>

⁴ Ещё одна организация, город, Россия, адрес@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6597-0000>

⁵ И ещё одна организация, город, Россия, адрес@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5889-0000>

Аннотация. 150-200 слов, включает в себя актуальность темы исследования, результаты и ключевые выводы.

Ключевые слова: 8-10 слов и словосочетаний, отражают специфику темы, объект и результаты исследования.

Благодарности: автор выражает признательность коллегам за помощь, благодарность за финансовую поддержку исследования.

Для цитирования: Заголовок статьи / И.О. Фамилия, И.О. Фамилия, И.О. Фамилия и др. // Ползуновский вестник. 2021. № 1. С. 3-7. doi: 10.25712/ ASTU.2072-8921.2021.01.001

ARTICLE TITLE (max 10 -12 WORDS, ABBREVIATIONS ARE NOT ALLOWED)

Imya O. Familiya¹, Imya O. Familiya², Imya O. Familiya³,
Imya O. Familiya⁴, Imya O. Familiya⁵

^{1,2,3} Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

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

² polz_journal@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4863-0000>

³ hghgh@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5841-0000>

⁴ Another organization, city, Russia, адрес@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6597-0000>

⁵ And another organization, city, Russia, адрес@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5889-0000>

Annotation. 150-200 words, includes the relevance of the research topic, results and key conclusions.
Keywords: 8-10 words and phrases, reflect the specifics of the topic, the object and the results of the study.

Acknowledgements: the author expresses gratitude to his colleagues for their help, thanks for the financial support of the research.

For citation: Familiya, I.O., Familiya, I.O Familiya, I.O., Familiya, I.O. & Familiya, I.O. (2021). Article title. *Polzunovskiy vestnik*, 1, 3-7. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.001

Пищевые продукты животного происхождения играют жизненно важную роль в питании человека благодаря своим сенсорным качествам и высокой пищевой ценности. Одной

из хорошо известных проблем таких продуктов является высокая скоропортящаяся способность и ограниченный срок хранения.

Таблица 1 - Микробиологические показатели

Table 1 - Microbiological indicators of chilled

Группа	Наименование показателя			
	КМАФАнМ, не более, КОЕ/г	БГКП (количественные формы), г	Бактерии рода <i>Salmonella</i> , не допускаются в массе продукта, г	<i>Listeria monocytogenes</i> , не допускаются в массе продукта, г



Рисунок 1 – Профиллограмма органолептической оценки

Figure 1-Organoleptic evaluation profile

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скурихин И.М., Тутельян В.А. Химический состав российских продуктов питания: Справочник. М.: ДеЛипринт, 2002. 236 с.

2. Лебедева Н.Г., Борисова А.В. Разработка технологии приготовления супа-пюре с использованием различных способов тепловой обработки // Вестник КрасГАУ. 2019. № 3. С. 148-153.

Информация об авторах

И. О. Фамилия — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой пищевой инженерии Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

REFERENCES

1. Skurikhin I. M. & Tutelyan V. A. (2002). Chemical composition of Russian food products: Handbook. Delhi print. P. 265. (In Russ.).
2. Lebedeva, N. G. & Borisova A.V. (2019). Development of technology for preparing soup-puree using various methods of heat treatment. *Vestnik KrasGAU*, (3), 148-153. (In Russ.).

Information about the authors

I.O. Familiya — Doctor of Technical Science, Professor, Head of the Department of Food Engineering of the Polzunov Altai State Technical University.

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:

г. Барнаул, пр-т Ленина, д. 46, 113 А ГК, почтовый индекс: 656038.
Стопорева Татьяна Александровна – тел.: 8 (3852) 290946, e-mail: polz_journal@mail.ru.

Подписано в печать 26.03.2021. Формат 60×84 1/8. Печать цифровая.
Усл. п. л. 22,32. Тираж 200 экз. Заказ 2021 -
Отпечатано в типографии АлтГТУ им. И.И. Ползунова, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46

Издательство АлтГУ им. И. И. Ползунова
656038 г. Барнаул, пр. Ленина, 46, каб. 113 главного корпуса
тел./факс +7 (3852) 29-09-46
сайт: <http://prc.altgu.ru/> e-mail: altgu@mail.ru
дизайн обложки: Р.С. Жуковский, доц. каф. ТИАрх